LES DOSSIERS DE LA Recherche

WWW.LA RECHERCHE.FR

DLR

#9 AVRIL/MAI 2014

DRONES
UNE TECHNOLOGIE DE HAUT VOL

OPEN DATA
LES GOUVERNEMENTS POUSSÉS À LA TRANSPARENCE

RECYCLAGE
LA SECONDE VIE DES SMARTPHONES

M 04219 - 9 - F: 6,90 € - RD

Nouvelle formule

LES 5 FAILLES DU WEB

LES NOUVELLES DIMENSIONS DU SON

Acoustique 3D et hologrammes sonores

D 8,60 € - BEL 7,90 € - ESP 7,60 € - GR 7,60 € - ITA 7,60 € - LUx 7,60 € - PORT CONT 7,60 € - CH 13,80 FS - TUN 7,40 TNd - MAR 69 DHs - CAN 10,99 $ CAN - DOM 7,60 € - TOM SURFACE 1000 XPF - TOM AVION 1720 XPF - ISSN 1772-3809

Le Monde & LA Recherche
présentent

DÉBATS
EXPOS - FILMS
RENCONTRES

ENTRÉE LIBRE

csupec.fr

CULTIVONS LE FUTUR

LE JEUDI 22 MAI 2014

AU cnam

(Conservatoire national des arts et métiers)

FORUM
SCIENCE, RECHERCHE & SOCIÉTÉ

PROGRAMME ET INSCRIPTION SUR **WWW.FORUM-SRS.COM**

En partenariat avec :

Avec le soutien de :

LES DOSSIERS DE
LA Recherche

SOPHIA PUBLICATIONS
74, avenue du Maine 75014 Paris
Tél. : 01 44 10 10 10 Fax : 01 44 10 54 30

Les Dossiers de La Recherche sont publiés par Sophia Publications, filiale d'Artémis.
Président-directeur général et directeur de la publication Philippe Clerget
Directrice de la rédaction Aline Richard
Assistante Gabrielle Monrose (54 38)

Rédacteur en chef Luc Allemand
Rédactrices en chef adjointes Sophie Coisne, Hélène Le Meur
Chef de service Marie-Laure Théodule
Chef de rubrique Cécile Klingler
Rédacteurs Vincent Glavieux, Rémi Canali
Secrétaire générale de la rédaction Catherine Caltaux
Secrétaire de rédaction Morvan Léon
Direction artistique Vincent Sainte Fare Garnot
1re rédactrice graphique Michèle Bourgeois
Service photo Anne Viratelle
E-mail rédaction : courrier@larecherche.fr

Conception graphique
A|noir|, | www.anoir.fr

RÉALISATION DE CE NUMÉRO
Rédactrice en chef adjointe et chargée de la réalisation des DLR Sophie Coisne
Direction artistique Vincent Sainte Fare Garnot
Secrétaire générale de la rédaction Catherine Caltaux
Graphiste Pascal Lyabastre
Secrétaire de rédaction Catherine Pagan
Iconographes Karine Israël, Anne Viratelle
Ont collaboré à ce numéro Jacques Abadie, Anne Balleydier, Christophe Blanc, Rafaële Brillaud, Hervé Cabibbo, Gautier Cariou, Stéphanie Chaptal, Denis Delbecq, Clément Delorme, Philippe Fontaine, Sylvain Guilbaud, Olivier Lapirot, Mathieu Lauria, Camille L'Épine, Florian Royer, Stéphane Viossat

Directrice déléguée gestion et numérique Dounia Ammor
Directrice des ventes et promotion Evelyne Miont (13 80)
Vente messageries VIP-diffusion Frédéric Vinot numéro vert 0800 51 49 74
Directrice commerciale et marketing Virginie Marliac
Responsable du marketing direct Linda Pain (54 51)
Responsable gestion abonnements Isabelle Parez (13 60)
Responsable comptabilité Sylvie Poirier (12 89)
Diffusion librairies DIF'POP'. Tél. : 01 40 24 21 31 Fax : 01 40 24 15 88

Directrice commerciale publicité et développement Caroline Nourry
Directeur de clientèle Antoine Faure (12 57)
Directeur de clientèle Eddie Barazzuol (12 12)
Directrice de clientèle secteur culture Françoise Hullot (12 13)

Imprimerie G. Canale & C., Via Liguria 24, 10071 Borgaro (TO), Italie.
Dépôt légal à parution.

ABONNEMENTS
Tarif France 1 an 12 numéros, 65 € ; 1 an 12 numéros + 6 Dossiers La Recherche, 96 € ; 1 an 6 numéros Dossiers La Recherche, 37 €.
Tarif international nous contacter.
Tél. 00 (33) 1 55 56 71 15
E-mail abo.recherche@groupe-gli.com
Adresse La Recherche Service Abonnements 17, route des Boulangers, 78926 Yvelines cedex 9
Suisse Edigroup Tél. : (0041) 22 860 84 01
Belgique Edigroup Tél. : (0032) 70 233 304

L'ÉDITO

PAR ALINE RICHARD
directrice de la rédaction

INTERNET LIBRE

Jolie flopée de W ! Alors qu'Internet a fêté en mars son 25e anniversaire, son créateur Tim Berners-Lee donne une nouvelle signification au célèbre « www » : World Wide Web, et aussi, désormais, Web We Want. Mais quel est donc ce « Web qu'on veut » souhaité par l'informaticien britannique ?

Un Internet libre, neutre, sur lequel s'appuyer sans se demander qui est derrière… « Faute de quoi, nous ne pouvons pas avoir de gouvernement libre, de bonne démocratie, de bon système de santé, des communautés connectées et la diversité des cultures », insiste Berners-Lee. Pour défendre le Net contre tous les cybersurveillants de la Terre, il nous propose d'approuver une nouvelle déclaration des droits de l'Humain et du e-citoyen (1). Les DLR ne peuvent qu'approuver : vous lirez dans ce numéro une enquête sur l'open government qui va dans ce sens. ✳

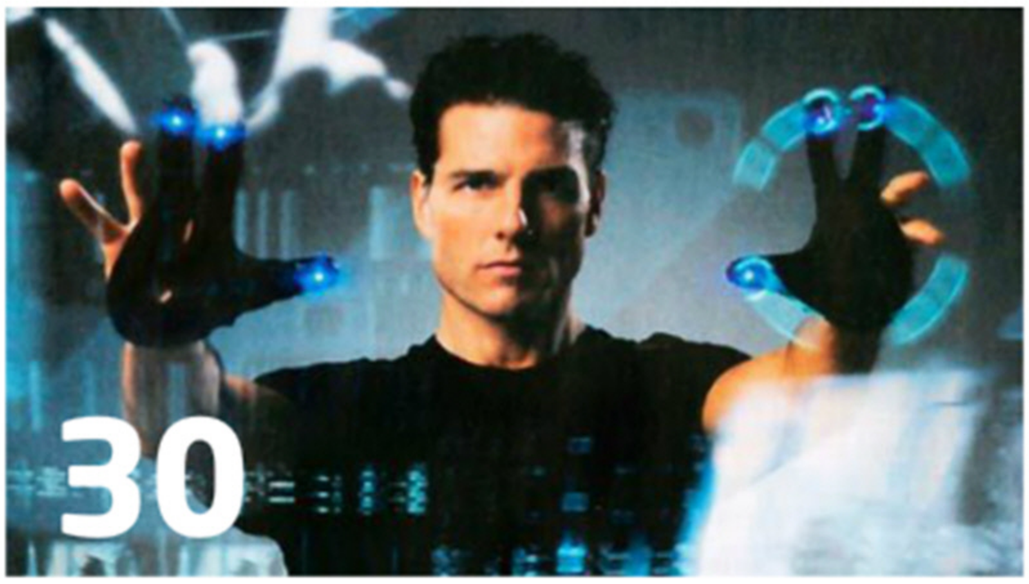
(1) http://webwewant.org

Jean-Christophe Baillie @jcbaillie
directeur scientifique à Aldebaran Robotics DR

« BIENVENUE ET BONNE CHANCE À @MAG_DLR, NOUVEAU MAG TECHNO DU MAGAZINE LA RECHERCHE ! bit.ly/N60GRF »

SOMMAIRE

10



30

25

Rencontre avec les pionniers du son spatialisé.
ILLUSTRATION PLASTICBIONIC - PHOTO AFP/PHILIPPE ANDRIEU

ÉDITO //3
Par **Aline Richard**

DATA //6
Votre smartphone est-il recyclé?
Un mobile, même cassé, est une véritable mine… de métaux précieux.

TECH TOUR 9

TENDANCES //10
Une sélection d'objets à la pointe de la technologie

C'EST GRAVE DOCTEUR //16
Un max de contacts… mais pas plus d'amis!
Vous avez beau être ultraconnecté, vous n'aurez pas plus d'amis

DONNÉES PUBLIQUES //18
Gouvernements, vos données nous regardent
De plus en plus de documents deviennent accessibles à tous… Qu'en ferons-nous?

TOP 5 //25
Les portes dérobées des pirates du Web
Vos données peuvent être interceptées. Comment déjouer les pièges?

BONNES FEUILLES //30
À quoi ressemblera le PC de demain?
Extraits de *Une brève histoire du futur* du physicien Michio Kaku

LA START-UP //34
SiConsult, fondé par Christian Lubat
Les objets communicants au service des apiculteurs

L'ÉCHO DES LABOS //36
Essentiels ou insolites, les projets des chercheurs

GAMING ROOM //42
« L'ordinateur ne s'oppose pas aux autres supports »
4 questions à Patrick Pligersdorffer, de Cyanide

L'IMPERTINENT //45
L'architecte **Carlo Ratti,** du Senseable City Lab au MIT, rend les villes hypersensibles

Les titres, les intertitres, les textes de présentation et les légendes sont établis par la rédaction du mensuel. La loi du 11 mars 1957 interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite (article L.122-4 du Code de propriété intellectuelle). Toute copie doit avoir l'accord du Centre français du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris. Tél.: 01 44 07 47 70. Fax: 01 46 34 67 19). L'éditeur s'autorise à refuser toute insertion qui semblerait contraire aux intérêts moraux ou matériels de la publication. Commission paritaire: 0318 k 91717. ISSN 1772-3809.

LES NOUVELLES DIMENSIONS DU SON

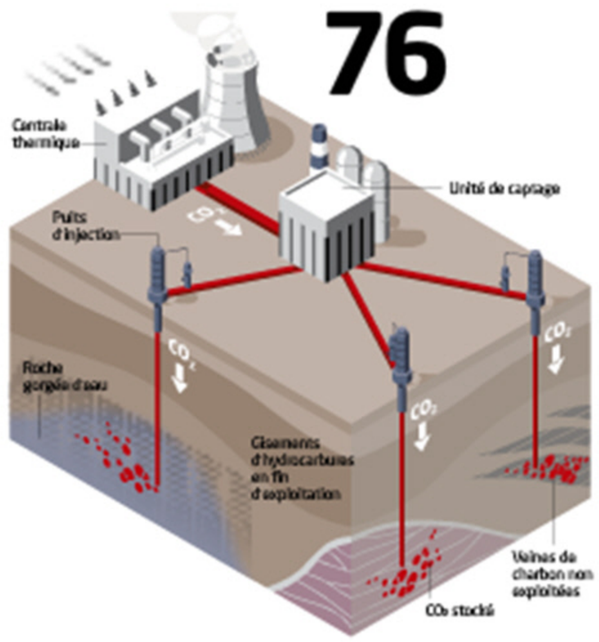
Après le cinéma et la télévision 3D, c'est au tour du son de prendre du relief. Bientôt, votre casque restituera la sensation physique d'être au cœur d'un concert et les sites de téléchargement procureront de la musique sous un format plus performant que le MP3.

Le son comme vous ne l'avez jamais entendu //**48**

Le MP3 est mort, vive le MPEG-H! //**58**

PLUS //**64**
Livre, DVD et sites internet

Retrouvez *Les Dossiers de La Recherche* dans l'émission *La Tête au carré* de France Inter, avec Mathieu Vidard



CULTURE LAB 65

MANIPULATION GÉNÉTIQUE //**66**
Les Français, champions des bactéries
Des étudiants élaborent des machines vivantes pour lutter contre la tuberculose

BACK TO BASICS //**72**
Le graphène
Un matériau aux multiples records

CLIMAT //**76**
Couvrez ce CO_2 que je ne saurais voir
On n'élimine pas ce gaz à effet de serre comme la poussière sous le tapis

AÉROBOTS //**80**
Drones, une technologie de haut vol
Nous ne pourrons bientôt plus nous passer de ces machines
Engins volants à tout faire
Ils envahissent de plus en plus notre quotidien

LE GUIDE //**90**
L'actualité culturelle
Livres, sorties, expos, conférences…

LE CODE POUR LES NULS //**93**
Créez votre programme de dessin
Votre deuxième leçon de programmation Scratch

LA QUESTION DE LA FIN //**98**
Pourquoi mon rideau de douche me colle-t-il à la peau?
Le docteur Guique répond

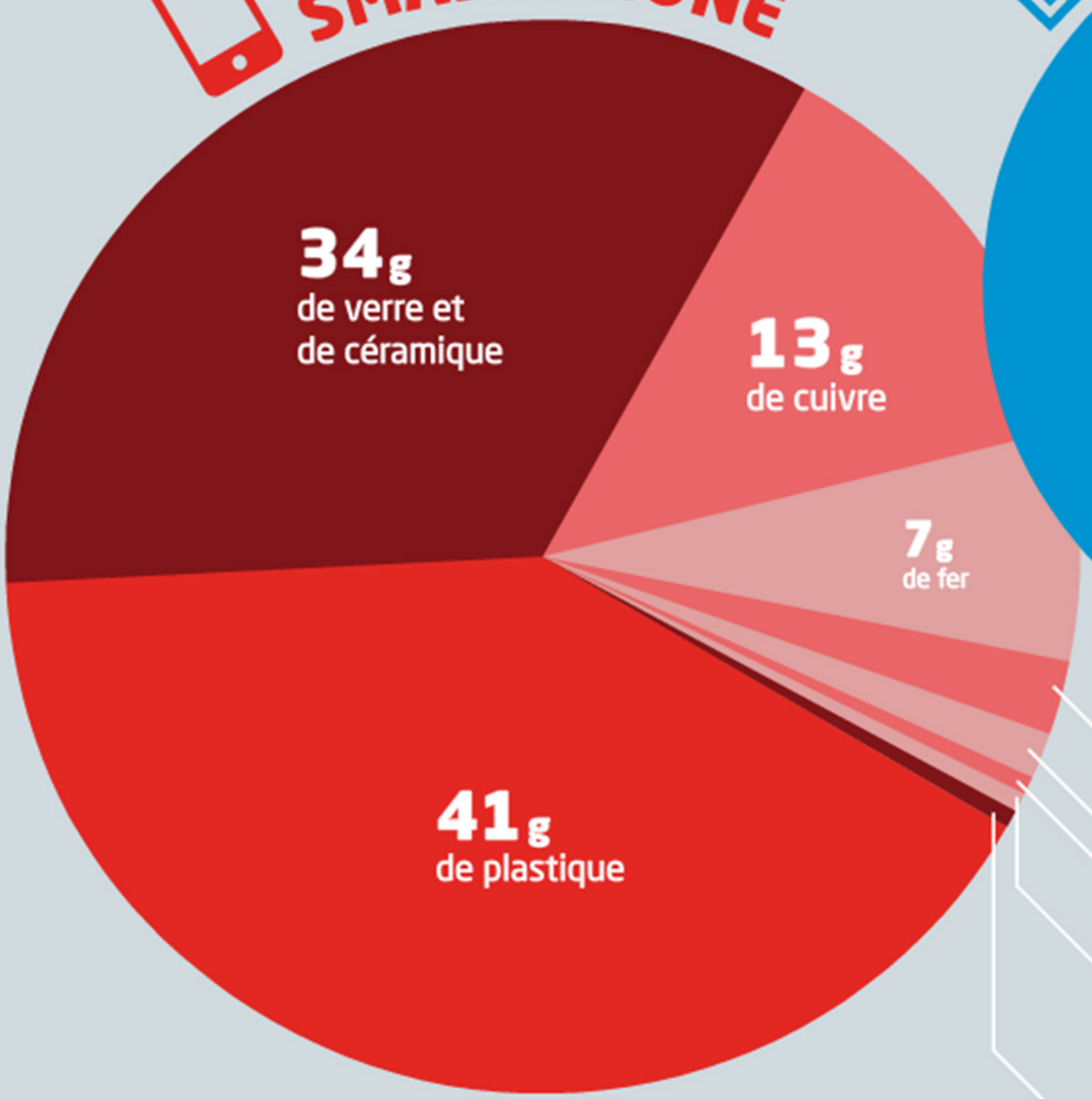
Ce numéro comporte un encart abonnement sur les ventes France et export (hors Belgique et Suisse); un encart Edigroup sur les ventes Belgique et Suisse.

Votre smartphone est-il recyclé ?

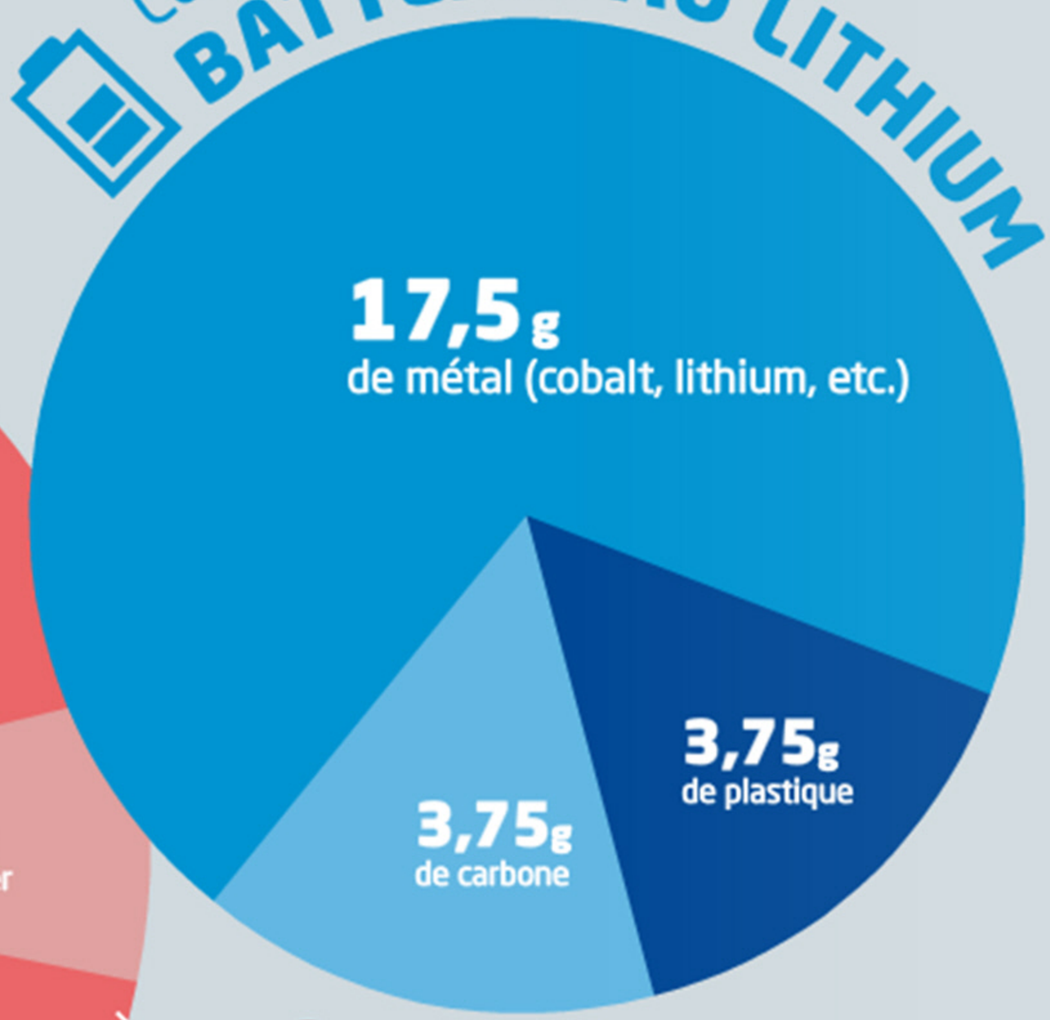
Aujourd'hui, la majorité des téléphones portables achetés neufs remplacent un autre appareil. Ce dernier finit souvent dans un placard et c'est dommage ! Car un mobile, même cassé, est une véritable mine… de métaux précieux.

PAR **Denis Delbecq** ILLUSTRATION **Studio V2**

Composition d'un SMARTPHONE



Composition d'une BATTERIE AU LITHIUM



TÉLÉPHONES VENDUS en 2011

20 millions

1 million d'appareils usagés ont été récupérés

Que deviennent les APPAREILS RÉCUPÉRÉS ?

51 % sont rachetés par des sociétés de rachat et des fabricants de smartphones

49 % sont collectés

Ceux qui sont RACHETÉS

90 % sont revendus d'occasion

10 % sont envoyés au démantèlement

Ceux qui sont COLLECTÉS

15,9 % sont revendus d'occasion

84,1 % sont envoyés au démantèlement

Ce qu'on récupère dans UN TÉLÉPHONE

MÉTAUX PRÉCIEUX

- **350 mg** d'argent
- **35 mg** d'or
- **15 mg** de palladium

AUTRE MÉTAL

- **11,5 g** de cuivre

Ce qu'on récupère dans UNE BATTERIE

- **3,8 à 6,3 g** de cobalt

Sources : UMICORE, Atelier du bocage, pour 583 000 appareils collectés en 2013, Fédération française des télécommunications.

CONCOURS GÉNÉRATION DÉVELOPPEMENT DURABLE

10e ANNIVERSAIRE 2014

Inventer pour le monde de demain

www.concoursgenerationd2.com

Catsaï Design - istockPhoto - Shutterstock

À GAGNER :

- **5 000 euros**
- **un accompagnement de projet** pour le 1er prix par Bouygues Immobilier
- **et de nombreux lots**

DÉPÔT DES DOSSIERS AVANT LE 21 AVRIL 2014

Un événement

LA Recherche L'actualité des sciences

ADEME

Bouygues Immobilier

Avec le soutien de

ANOUS autolib' DUNOD letudiant.fr terraeco France culture plus le webcampus

TECH TOUR

Tendances
De la cible digitale aux phablettes
> P. 10

Data
Les gouvernements ouvrent leurs données
> P. 18

Top 5
Évitez les pirates du Web
> P. 25

Échos des labos
Les technologies d'après-demain
> P. 36

Christian Lubat
conçoit des pièges high-tech
> P. 34

DR, REUTERS / JACKY NAEGELEN - DR, ILLUSTRATION : UMBERTO MISCHI, VIRGINIA TECH NEWS & MEDIA RELATIONS, GABARDAN/SCONSULT

LE PILULIER CONTRÔLE LE PATIENT

Plus le traitement est lourd, plus les oublis posent problème. Afin de simplifier et de contrôler la prise des cachets, la société française Medissimo a mis au point le pilulier iMedipac. Il se compose d'un pilulier classique, équipé d'une étiquette NFC pour l'identifier, et d'un boîtier électronique dans lequel s'insère le pilulier. Grâce à une carte SIM, le boîtier communique en GPRS avec la plate-forme de Medissimo. Il est informé du traitement et du programme de prise. À l'heure prévue, il prévient le malade en émettant un son et éclaire la case du pilulier correspondante. Pour récupérer les comprimés, le patient doit percer un opercule. Ce geste est détecté à la fois par l'accéléromètre du boîtier et le capteur optique de chaque case : le boîtier sait donc si la prise a eu lieu. Dans le cas contraire, il prévient les proches ou le médecin, par SMS, mail ou appel vocal. L'utilisation d'iMedipac est soumise à la souscription d'un abonnement. Le pilulier sera commercialisé dans quelques mois, après une étude clinique auprès de 1 000 patients.

DR

À l'heure H, la case contenant les bons cachets s'illumine. Et s'ils ne sont pas pris, le médecin est averti !

DR

LE MASQUE POUR DORMIR MOINS LONGTEMPS

Dormir moins pour travailler – ou profiter – plus ! C'est la promesse du masque NeuroOn de la start-up polonaise Intelclinic, qui se propose de découper votre sommeil en tranches courtes tout au long de la journée. À l'intérieur du masque, trois électrodes mesurent les signaux électriques correspondant à l'activité cérébrale, à la tension musculaire et aux mouvements des yeux, lesquels renseignent sur le type de sommeil. Après chaque phase de sommeil paradoxal, le masque vous réveille en allumant des diodes. Grâce à une appli sur smartphone, il vous prévient aussi lorsque l'heure de faire une sieste arrive.

1 milliard

C'est le cap symbolique que les ventes mondiales de smartphones ont franchi en 2013, selon le cabinet IDC. Les marques Samsung et Apple représentent à elles seules près de la moitié des ventes, respectivement 31,3 % et 15,3 %. Plus de 1 téléphone acheté sur 2 est un smartphone.

DÉCRYP-TAGE

DAVID RAMOS/GETTY IMAGES

Les visiteurs du Mobile World Congress 2014, à Barcelone, autour du stand Samsung, fabricant coréen qui a lancé les smartphones à écran XXL.

L'ÉCRAN DES SMARTPHONES SE DILATE

Avec leur écran supérieur à 12,7 cm de diagonale (5 pouces), les « phablets » ou phablettes peuvent faire sourire. La présence de ces appareils hybrides, entre le smartphone et la tablette tactile, s'est pourtant affirmée lors de la dernière édition du Mobile World Congress (MWC) de Barcelone, rendez-vous technologique consacré aux appareils mobiles. Du smartphone, les phablettes héritent la capacité de téléphoner. De la tablette, un écran tactile taille XXL, bien plus grand que ce que l'on trouve d'habitude sur les smartphones.

Ainsi, le fabricant chinois Huawei a présenté au MWC son nouveau modèle MediaPad X1, dont la diagonale d'écran atteint… 7 pouces, soit presque 18 cm! Et ce n'est que l'écran: la phablette, plus longue qu'une carte postale, mesure 10,4 x 18,4 cm. Pas facile de la glisser dans une poche, même si son épaisseur est inférieure à 7,2 mm! Dans la même veine, le Français Archos propose un écran de 6,4 pouces (16,3 cm) sur son 64 Xenon, le Chinois ZTE une diagonale de 6 pouces (15,2 cm) sur son Grand Memo II LTE, et le Coréen LG, 5,9 pouces (15 cm) sur son modèle G Pro 2. Une telle taille d'écran, doublée d'une résolution d'au moins 1 280 x 720 pixels, permet de visionner images et vidéos, et de jouer avec beaucoup de confort.

Le phénomène des phablettes commence en octobre 2011, date de sortie du Galaxy Note du Coréen Samsung. Le fabricant fait alors le pari de créer un smartphone haut de gamme capable de rivaliser avec le confort visuel des tablettes. Avec un écran de 5,3 pouces (13,5 cm) de diagonale, l'appareil passe pour une monstruosité sans avenir. Erreur: d'après les prévisions du cabinet Deloitte, il se vendra 300 millions de phablettes en 2014 dans le monde, ce qui représente un quart des ventes de smartphones. Deux fois plus qu'en 2013. Le prix moyen de vente devrait s'établir à 415 dollars, soit 10 % plus cher que les « petits » smartphones, les activités de visionnage de vidéos en streaming et de jeux vidéo soutenant les ventes. L'engouement est tel que certains analystes revoient leurs critères. Ainsi, le cabinet Juniper Research prévoit que la norme pour les smartphones haut de gamme sera bientôt un écran entre 5 et 5,5 pouces (12,7 et 14 cm). Et qu'une phablette aura, au minimum, une diagonale d'écran de 5,6 pouces.

Le record de taille de l'écran revient au modèle du Chinois Huawei.

ALBERT LLOP / ANADOLU AGENCY

DR

LE VIDÉOPROJECTEUR QUI A LE DON D'UBIQUITÉ

Ce cube n'est ni un haut-parleur d'appoint ni un vidéoprojecteur ambulant ni une radio portable : il est tout cela à la fois ! Facile à transporter grâce à son gabarit (1,6 kg pour 13 cm de côté), le Bloc d'Orange fonctionne en Wi-Fi avec la Livebox de l'opérateur. Il sert alors à diffuser les chaînes que reçoit la box, le vidéoprojecteur qu'il enferme transformant n'importe quel mur en écran d'une taille de 25 cm à 3 m d'envergure. Pour piloter le Bloc, une appli transforme le smartphone en télécommande Bluetooth ou Wi-Fi. Les enceintes du Bloc délivrent un son 2.1. Elles relayent, à partir du smartphone, la musique provenant du compte Deezer de l'utilisateur. La prise HDMI du Bloc peut accueillir une console de jeux ou un lecteur DVD. Sans forfait internet chez Orange, l'appareil se limite aux contenus personnels (vidéos, musique, photos) stockés sur des supports amovibles, sur le PC, et aux contenus lus par le smartphone.

DEVENEZ CHAMPION DU BROSSAGE DE DENTS

Êtes-vous sûr que vos dents sont parfaitement nettoyées lorsque vous les brossez ? La brosse à dents électrique Plover de la société Kolibree va vous aider à le savoir. Dans son manche, elle dissimule une centrale inertielle (une association d'accéléromètres et de gyroscopes) qui enregistre ses mouvements. À la fin du brossage, les données sont transférées en Bluetooth à votre smartphone. L'appli prévue les analyse et détermine quelles sont les zones oubliées ou mal brossées. Elle indique aussi la durée effective du brossage. Un système de points permet même d'organiser des compétitions à la maison et de motiver les plus réticents.

DR

Les T-shirts ont la fibre santé

Les T-shirts discuteront-ils bientôt avec les smartphones de notre santé ? Le consortium industriel français Smart Sensing a mis au point une technique permettant d'intégrer toutes sortes de minicapteurs directement dans les fibres d'un tissu. Un prototype calculant le taux de fatigue a ainsi été réalisé. CITYZEN SCIENCES

@TWEETS

AMENDE. **La Commission nationale de l'informatique et des libertés (Cnil) a infligé à Google une amende de 150 000 euros. Elle lui reproche en effet de ne pas respecter les règles de confidentialité relatives aux données personnelles. Deux jours durant, l'entreprise américaine a également dû afficher sur son site le communiqué de la Cnil expliquant la sanction.**

Suite p. 14

18 AVRIL 2014

FIRST DAY OF TOMORROW

EVENEMENT EXCEPTIONNEL

Venez assister au **First Day of Tomorrow**
au Centre des Congrès de la Cité des Sciences et de l'Industrie le 18 avril prochain.

Un événement unique d'envergure internationale rassemblant parmi l**es plus brilliants chercheurs, entrepreneurs et investisseurs pour présenter les technologies qui construiront notre futur et** présider la grande finale du **Hello Tomorrow Challenge,** le plus grand concours paneuropéen de startups hightech.

INFOS, PROGRAMME, BILLETS : www.hello-tomorrow.org

Massimo Banzi
inventeur de l'Arduino

Prof. Patrick Couvreur
inventeur de l'année 2013 - CNRS

Dr. Andrew Dawood
le pape de l'impression 3D médicale

Dr. Tim Gardner
Directeur de la recherche chez Amyris

Prof. Grégory Katz
Chaire ESSEC Innovation Thérapeutique

Dr. Jessica Richman
Fondatrice de uBIOME

Dr. Vincent Schachter
Directeur R&D Total - Gaz et Energies Nouvelles

Dr. Zoltan Takats
inventeur du iKnife Imperial College

Prof. Massimo Versace
Neumorphic Lab Boston University

Elaine Warburton
Directrice Générale de QuantuMDx

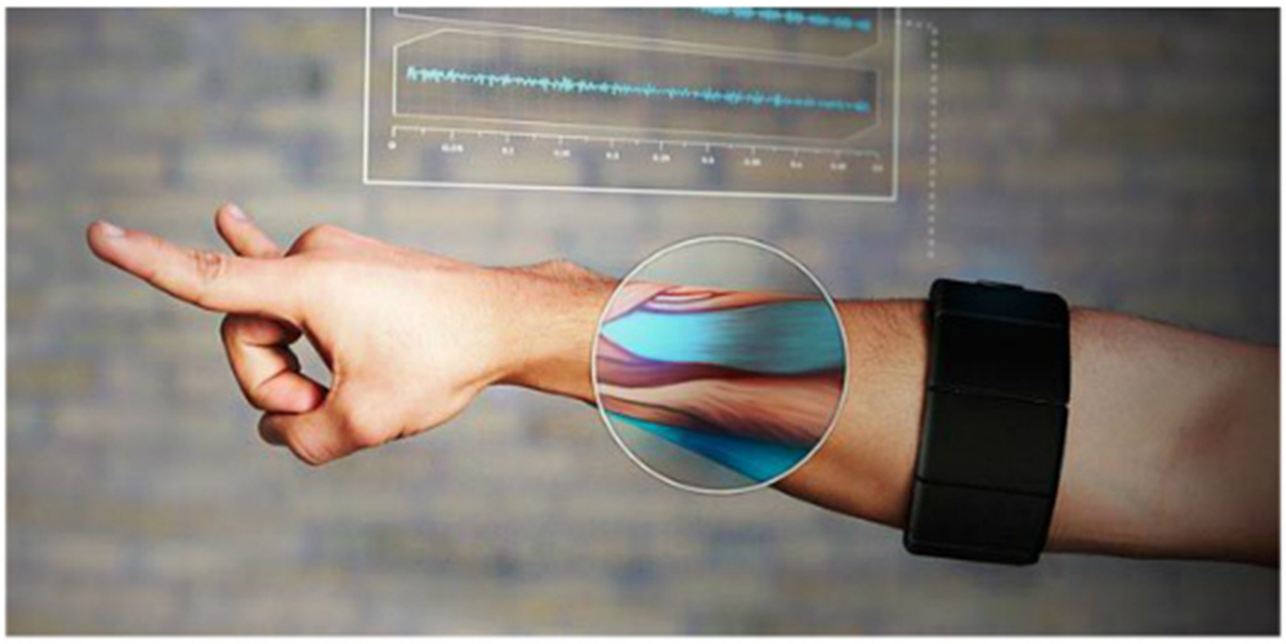
Plus de 40 speakers mondialement reconnus monteront sur scène pour inspirer plus de **1200** participants et discuter du futur de la **Big Data**, de l'**impression 3D**, du **Do It Yourself**, des B**iotech et Medtech**, de la **Mobilité**, des **Cleantechs**, des **Objets Connectés** et bien plus encore!

TRANSFORMEZ VOTRE SMARTPHONE EN CAMÉRA THERMIQUE

Pour bien voir la nuit, oubliez la fonction torche de votre mobile. Le constructeur américain Flir Systems, spécialiste de l'imagerie thermique, sort la coque Flir One pour smartphone. Adaptée uniquement aux iPhone 5 et 5S pour le moment, elle ajoute au téléphone une caméra thermique, matériel jusque-là réservé aux professionnels. Il devient alors possible, sur l'écran du smartphone, d'observer la vie des animaux nocturnes en toute discrétion, de détecter les intrus dans le noir total, ou bien de visualiser les fuites de chaleur de son logement. Cette coque existe grâce à la mise au point du plus petit module de caméra thermique existant, le Flir Lepton. Plus petit qu'une pièce de 5 centimes d'euros, il détecte des différences de température de l'ordre de 0,05 °C. Des analystes prédisent déjà que le prix de cette caméra thermique miniature va chuter et qu'elle pourrait rapidement devenir un équipement d'origine des smartphones.

DR

Voir la nuit ou visualiser les fuites de chaleur grâce à votre smartphone ? C'est désormais possible.



DR

UN BRASSARD DE COMMANDE À L'AVEUGLE

Interagir avec son ordinateur par gestes, on connaît déjà. Toutefois, les systèmes comme la barre Kinect ou le boîtier Leap Motion utilisent des caméras, ce qui exige que l'on soit bien positionné. Une contrainte qui disparaît avec le brassard Myo, de la société canadienne Thalmic Labs. Il contient huit électrodes pour détecter l'activité électrique des muscles du bras. Ajoutez à cela un accéléromètre, un gyroscope et un magnétomètre, et le brassard est capable de reconnaître une vaste panoplie de gestes de la main et du bras, et de communiquer les informations en Bluetooth à tout périphérique, ordinateur, console de jeux ou drone. Myo est disponible en précommande.

Wi-Fi gratuit dans 128 gares

La SNCF va offrir un accès Wi-Fi gratuit et illimité dans 128 gares, une première en Europe, selon elle. Avant d'accéder au réseau, le voyageur en transit visionnera un spot publicitaire. Le déploiement se fera en plusieurs étapes, d'ici à un an. Les deux premières gares concernées sont celles de Lille-Flandres et Avignon-TGV.

CONDUITE ACCOMPAGNÉE AVEC UN DRONE

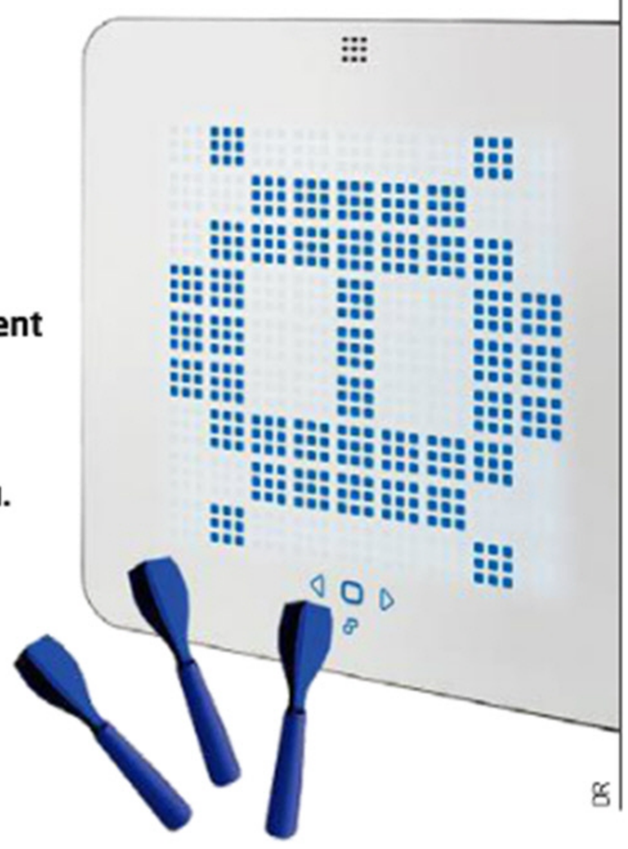
Une nouvelle voiture pour le prochain James Bond ? Au Salon de l'auto de Delhi, en Inde, le constructeur Renault en a surpris plus d'un. Son Kwid Concept est une berline compacte dont la partie arrière du toit bascule pour libérer… un drone ! Le « compagnon volant », équipé d'une caméra et d'un GPS, sert à diverses tâches, comme s'informer sur les raisons d'un embouteillage, détecter des obstacles sur la route ou prendre des photos du paysage. Il offre deux modes de pilotage : un automatique, avec des séquences préprogrammées, et un manuel. Dans ce cas, le conducteur (ou un passager) pilote le drone à partir du tableau de bord, lequel ressemble à une tablette tactile. Autre particularité, l'agencement inhabituel des sièges : trois à l'avant et deux à l'arrière. La place du conducteur est légèrement avancée pour libérer de l'espace au niveau des épaules. La position de conduite centrale permet à la voiture d'être aussi bien adaptée à la conduite à gauche sur les routes de Sa Majesté qu'à la conduite à droite sur celles de notre doux pays.

RENAULT DESIGN

Sorti du toit, le drone s'informe sur les raisons de l'embouteillage… ou prend des photos du paysage.

CIBLE MOUVANTE

Voilà de quoi relancer le traditionnel jeu de fléchettes. T-Light, de la marque Géologic, est une cible électronique de moins de 3 cm d'épaisseur. Elle se compose d'un écran constitué de 9 x 9 LED, doublé d'une plaque métallique sur laquelle s'aimantent les fléchettes. Proposés avec 9 jeux, l'écran affiche différentes figures (extraterrestre, fantôme…) que l'on peut soi-même dessiner. Particularité de T-Light : les cibles se déplacent dans les quatre directions de l'écran, ce qui augmente l'intérêt au jeu. Et quand on ne joue pas, c'est une horloge qui défile. T-Light sera disponible en juin.



Robots-lycéens

C'est une première en France. À la rentrée 2014, trois robots prendront place en classe dans trois lycées de la région Rhône-Alpes. Piloté à distance par un élève malade, le robot retransmettra au lycéen tout ce qui se passe en cours, mais aussi en récréation et au restaurant scolaire.

PAGES RÉALISÉES PAR
Olivier Lapirot

@TWEETS

LUMINEUX **À l'occasion d'un Salon professionnel, le fabricant néerlandais Philips a montré l'intérêt de la communication Li-Fi (par impulsions lumineuses) dans un supermarché. Grâce aux ampoules LED du réseau d'éclairage, il est possible de transférer, à moindre frais, un bon de réduction sur le smartphone d'un client, via sa caméra et une appli, en fonction de sa position dans le magasin.**

UN MAX DE CONTACTS… MAIS PAS PLUS D'AMIS !

Ultraconnecté, vous tweetez, likez et snapchatez en permanence avec vos amis. Oui, mais voilà, d'après une étude, vous ne téléphonez qu'aux plus… proches. Et ce cercle limité ne s'agrandira pas. Même Facebook n'y changera rien !

Deux, cinq, dix amis proches : le nombre varie selon les personnes mais, pour chaque individu, il ne change pas au cours du temps. C'est la conclusion de l'étude dirigée par Robin Dunbar, anthropologue à l'université d'Oxford, au Royaume-Uni. D'après les chercheurs, ce résultat reflète notre capacité limitée à entretenir des relations affectives avec plusieurs personnes.

Pour parvenir à ce résultat, l'équipe de Robin Dunbar a suivi 30 étudiants pendant dix-huit mois alors qu'ils passaient du lycée à l'université ou entraient dans la vie active. Une période riche en nouvelles rencontres, où des liens d'amitié se nouent et d'autres se distendent. Afin d'analyser ces changements, les chercheurs se sont intéressés aux appels téléphoniques passés par les étudiants sur leur téléphone mobile. Tous les six mois, ils leur ont fait remplir un questionnaire pour déterminer leur niveau de proximité avec les personnes appelées. Résultat : plus les appels vers un ami étaient nombreux, plus cet ami était proche. *« Cela peut sembler paradoxal mais les personnes qu'on appelle le plus sont celles qu'on voit le plus ! »*, souligne Christophe Prieur de l'université Paris-Diderot.

Surtout, les chercheurs ont constaté que la grande majorité des appels concernait un cercle restreint de personnes. Au fil de l'étude, l'identité de ces amis proches a beaucoup changé, en particulier entre le sixième et le douzième mois, juste après la fin des études secondaires. Malgré ce fort turnover, le nombre de relations proches n'a pas varié. *« Chaque étudiant conserve un nombre d'amis fixe et une façon de communiquer avec eux qui constitue sa signature sociale »*, résume Christophe Prieur.

Comment l'expliquer ? Les auteurs avancent plusieurs hypothèses. Nos capacités cognitives et le temps limité dont nous disposons ne nous permettraient pas d'entretenir davantage de relations affectives. Certaines études récentes d'imagerie cérébrale suggèrent une autre piste : le nombre maximal d'amis que peut avoir un individu serait lié… à la taille et à la structure de certaines régions de son cerveau, notamment celles situées à l'avant du crâne.

Jacques Abadie

ILLUSTRATION **Oxolaterre**

MATHIEU VIDARD

LA TÊTE AU CARRÉ

DU LUNDI AU VENDREDI DE 14H À 15H

DONNEZ VOS OREILLES À LA SCIENCE

Sciences dures, du vivant ou humaines, Mathieu Vidard s'intéresse à toutes les observations et les expérimentations scientifiques avec éclectisme et pédagogie.
Et chacun comprend mieux le monde qui l'entoure.

AUSTRALIE - R.C.S. Paris B 378 899 363.

LES DOSSIERS DE LA Recherche
WWW.LA-RECHERCHE.FR
DLR

france inter
LA VOIX EST LIBRE
franceinter.fr

Gouvernements, vos données nous regardent

Intervenir sur le budget de sa ville ou la loi de son pays... Avec l'« open government », c'est déjà une réalité dans certains États. De plus en plus de gouvernements partagent leurs données. Aux citoyens de s'en saisir !

PAR
Olivier Lapirot

Les citoyens ne s'assoient pas sur les bancs de l'Assemblée nationale. Mais certains corrigent déjà les projets de loi.
REUTERS/JACKY NAEGELEN - DR

Alice repose sa tasse de thé. Il est temps de s'activer : d'après sa tablette, si elle attrape le métro de 8 h 52, elle aura le bus de 9 h 07 et arrivera à 9 h 18 précises à l'arrêt situé au pied de son bureau. Une veste, son sac, ses clés, la voilà partie. En route pour le métro, elle aperçoit des employés qui réparent un lampadaire. « *Ils ont fait vite* », se dit-elle. Alice a signalé la panne hier soir, en rentrant, grâce à l'appli municipale prévue à cet effet.

Deux minutes plus tard, elle s'installe dans la rame et prend connaissance, sur sa tablette, des dernières actualités. Bonne nouvelle : la proposition de loi à l'initiative des citoyens, à laquelle Alice a participé lors d'un débat en ligne de plusieurs mois, va passer au Sénat dans deux jours. Le métro approche de la station où Alice descend. Elle range ses affaires. Inutile de courir, son smartphone l'avertit que le bus a du retard.

Ce récit fictif au pays des merveilles de la démocratie deviendra-t-il réalité ? Notre vie de citoyen pourrait ressembler à cela si était déployé, dans toute son ambition, le concept de « gouvernement ouvert », « open government » en anglais. Ce concept est à la convergence de deux tendances. La première s'incarne dans les mouvements contestataires, comme celui des Indignés ou d'Occupy Wall Street : les citoyens du monde ont le sentiment que la démocratie leur échappe. Seuls 17 % estiment que leur gouvernement les écoute, selon les chiffres du réseau GovLab, qui enregistre aussi que 50 % des citoyens affirment avoir confiance dans ses institutions. La seconde tendance est technique. Avec le développement d'Internet et des réseaux sociaux, il est aujourd'hui très facile de partager des informations pour un faible coût. Et si l'on utilisait les outils numériques pour permettre aux citoyens de participer davantage à la vie publique ?

Le coup d'envoi de Barack Obama

Cette idée a émergé aux États-Unis, au sein de la communauté du logiciel libre. Elle est devenue soudain plus concrète le jour de l'investiture de Barack Obama, le 20 janvier 2009. Le nouveau président américain, dont la campagne s'est appuyée sur les réseaux sociaux, signe alors un « mémorandum pour la transparence et le gouvernement ouvert ». Il y déclare : « *Mon administration est déterminée à créer un niveau d'ouverture sans précédent au sein du gouvernement. Nous allons travailler ensemble pour assurer la confiance du public et bâtir un système reposant sur la transparence, la participation du public et la collaboration.* »

Trois mois plus tard, le site Data.gov, portail sur lequel les Américains ont accès aux données produites par les administrations est lancé. En janvier 2010, le Royaume-Uni crée son portail officiel, Data.gov.uk, sous l'égide de l'inventeur du Web, Tim Berners-Lee. Ce mouvement d'ouverture des données publiques ou « open data », en anglais, est l'une des pierres angulaires du gouvernement ouvert.

Mais de quelles données parle-t-on ? Des statistiques, des plans géographiques, des budgets, des rapports, des horaires, des inventaires, etc., que les ministères, les organismes publics, les collectivités locales produisent en grande quantité, et dont l'usage reste réservé à l'administration. Or la production de ces données a déjà été payée, grâce à nos impôts. Leur mise à disposition en ligne, sous forme numérique, ne coûte quasiment rien. Pourquoi ne pas les « rendre » aux citoyens pour qu'ils les utilisent et en tirent le meilleur parti ?

Avec à la clé, deux bénéfices. Le premier est d'offrir une meilleure transparence du fonctionnement des institutions. Grâce aux jeux de données concernant les finances publiques par exemple, il est plus facile de connaître, voire de contrôler, l'utilisation de l'argent public. Ainsi, à partir des données budgétaires du gouvernement britannique, l'association Open Knowledge Foundation (OKF) réalise le site Where does my money go ? Celui-ci explique, en fonction du revenu de l'internaute, comment se répartissent ses impôts. En France, l'association Regards citoyens édite les sites NosDéputés.fr et NosSénateurs.fr,

Avec Internet, il est très facile de partager des informations, pour une somme dérisoire

lesquels détaillent l'activité de chaque parlementaire, en reprenant les données présentes sur les sites de l'Assemblée nationale et du Sénat, ainsi que les délibérations publiées dans le *Journal officiel*.

Des retombées économiques et sociales à la clé

Le second bénéfice est économique et social. Des entreprises, des associations, à partir des données publiques, peuvent créer et commercialiser des services inédits. Le domaine des transports, par exemple, a tiré profit de l'open data : on ne compte plus les applis pour smartphones qui informent l'individu de l'heure exacte d'arrivée de son train ou du stock de vélos disponibles à la station en libre-service la plus proche. Uniquement pour Londres, ces applis ont permis un gain de temps dont la valeur économique est estimée, pour mai 2013, entre 15 et 58 millions de livres sterling.

L'open data permet aussi l'émergence de services de grande utilité sociale. Ainsi, en 2010, quand la métropole de Rennes a libéré l'accès aux données concernant la voirie, elle ne savait pas à quoi elles serviraient. Et l'appli Handimap est apparue : elle calcule, en fonction de la hauteur des trottoirs, le meilleur trajet accessible aux personnes à mobilité réduite.

Mais mettre en ligne des fichiers n'est pas tout, encore faut-il qu'ils soient exploitables. Pour cela, un jeu de données doit répondre à des critères précis : être disponible gratuitement, téléchargeable facilement, dans un format informatique simplifiant sa manipulation, sous une licence qui permet de réutiliser le jeu de données librement. Or, en pratique, c'est plus complexe : les données peuvent être livrées sous forme de fichiers PDF (format inexploitable pour un traitement automatique des données), leur accès est soumis à une redevance, leur réutilisation restreinte ! Pas facile de s'y retrouver.

En décembre dernier, deux indicateurs ont vu le jour afin d'évaluer et de comparer le degré d'ouverture des données à travers le monde. Le Baromètre Open Data, édité par la fondation World Wide Web de Tim Berners-Lee, et l'Open Data Index, de l'association britannique Open Knowledge Foundation (OKF). Chacun a listé, par pays, les jeux de données disponibles selon des domaines (14 pour le premier, 10 pour le second), jugés cruciaux, tels que les finances publiques, l'environnement, les transports. Le résultat est très mitigé. Si de plus en plus de pays mettent en place *Suite p. 22*

MISE EN COMMUN À LA FRANÇAISE

Le portail français Data.gouv.fr, dans sa nouvelle mouture mise en ligne en décembre, séduit. Et pour cause. *« Le portail a été construit en collaboration avec la société civile,* explique Henri Verdier, directeur d'Etalab, service du Premier ministre chargé de promouvoir l'ouverture des données publiques. *C'est une première mondiale, tout le monde peut y déposer des données publiques. Il fonctionne sur le même principe que Wikipédia : une communauté d'internautes va le maintenir et l'améliorer en permanence. »*

Les collectivités locales françaises sont elles aussi dynamiques. *« Au prorata de sa population, la France compte beaucoup d'initiatives locales d'ouverture des données,* estime Claire Gallon, de l'association LiberTIC. *Toutefois, les initiatives sont éparses et souvent limitées à un seul domaine. »* Trouver des jeux de données relatifs aux budgets ou aux marchés publics reste encore exceptionnel. À moins que le conseil général de Gironde ne fasse des émules : il a été le premier, en décembre 2013, à adopter le principe d'ouverture systématique des données publiques.

FUTUR EN SEINE

cap·digital Paris Region

LE FESTIVAL DU NUMÉRIQUE

DU 12 AU 22 JUIN 2014

MADE WITH*

* Faire ensemble

DU 12 AU 15 JUIN

Cnam, Gaîté lyrique, Musée des arts et métiers

Expositions, conférences, rencontres, actions, business
Pour petits et grands

#FENS2014
292, rue Saint-Martin - 3 bis, rue Papin - Paris 3e

ET JUSQU'AU 22 JUIN

Toute l'Île-de-France

Une centaine d'évènements partenaires

Programme complet :
www.futur-en-seine.fr

îledeFrance
Demain s'invente ici

MAIRIE DE PARIS · seine saint denis LE DÉPARTEMENT · orange · LA POSTE · JCDecaux · le cnam · gaîté LYRIQUE

Mettre en ligne des fichiers n'est pas tout, encore faut-il qu'ils soient exploitables

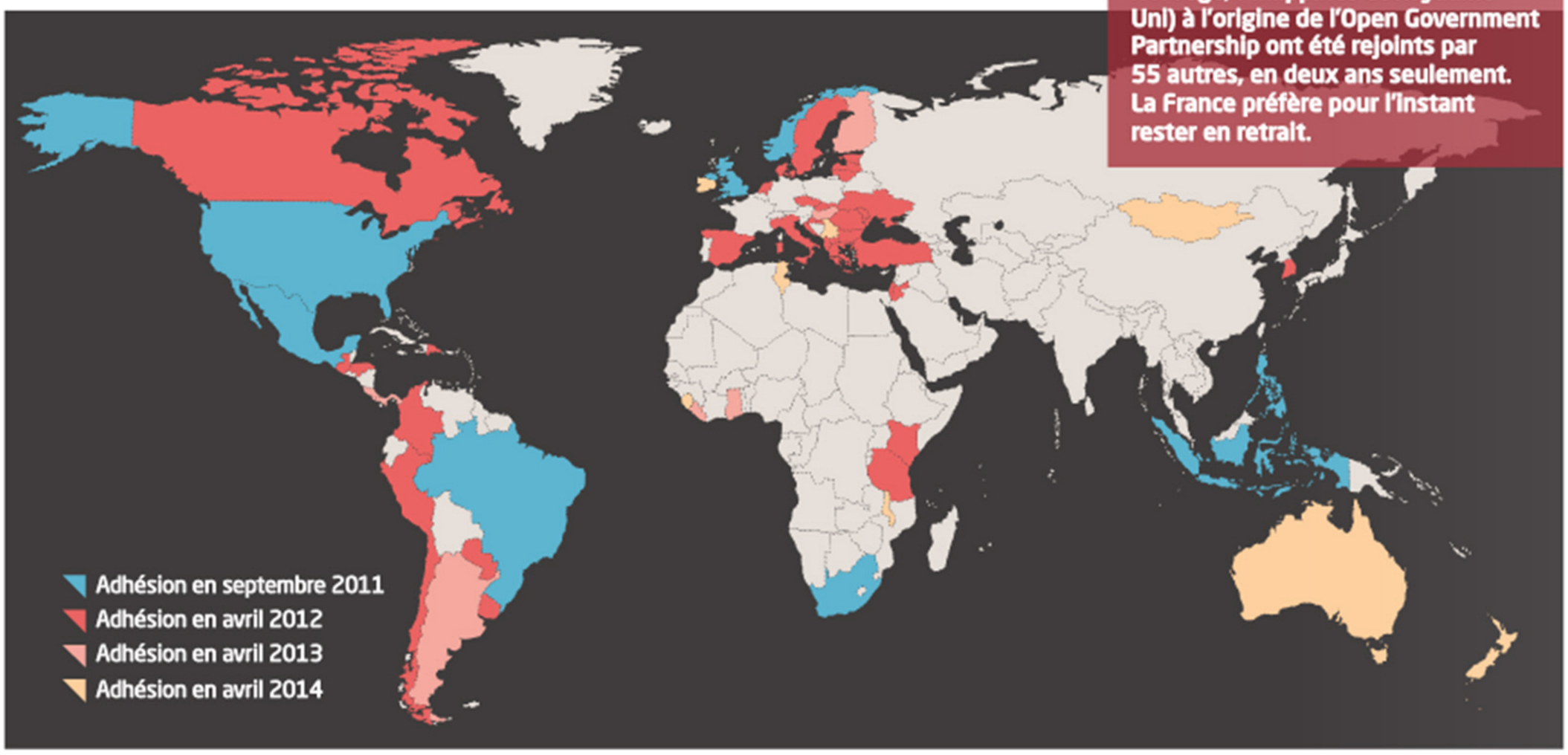
des programmes d'ouverture, la proportion de jeux de données répondant aux critères de transparence est encore faible : 7% dans le Baromètre classant 77 pays, 12% dans l'Index concernant 70 pays. La France est classée 10e dans le premier, 16e dans le second mais, depuis, de nouveaux jeux de données ont été mis à disposition sur le nouveau portail Data.gouv.fr.

Toutefois, le mouvement d'ouverture des données publiques n'est qu'un aspect d'un gouvernement réellement « open ». *« Le gouvernement ouvert est un concept plus profond. Il questionne les institutions publiques, la manière dont les politiques et les citoyens discutent, prennent les décisions ensemble »*, précise Lancelot Pecquet, coordinateur du projet République Citoyenne consacré au gouvernement ouvert et enseignant à Sciences Po. *« Un sénateur m'a confié recevoir 400 mails par jour et ne lire que les trois premiers, par manque de temps. Mais les outils collaboratifs permettent de dialoguer avec des dizaines de milliers de personnes ! C'est une nouvelle manière d'échanger, portée par la technique, un énorme progrès pour la démocratie. »* Par petites touches expérimentales se dessine, à travers le monde, tout le potentiel du gouvernement ouvert.

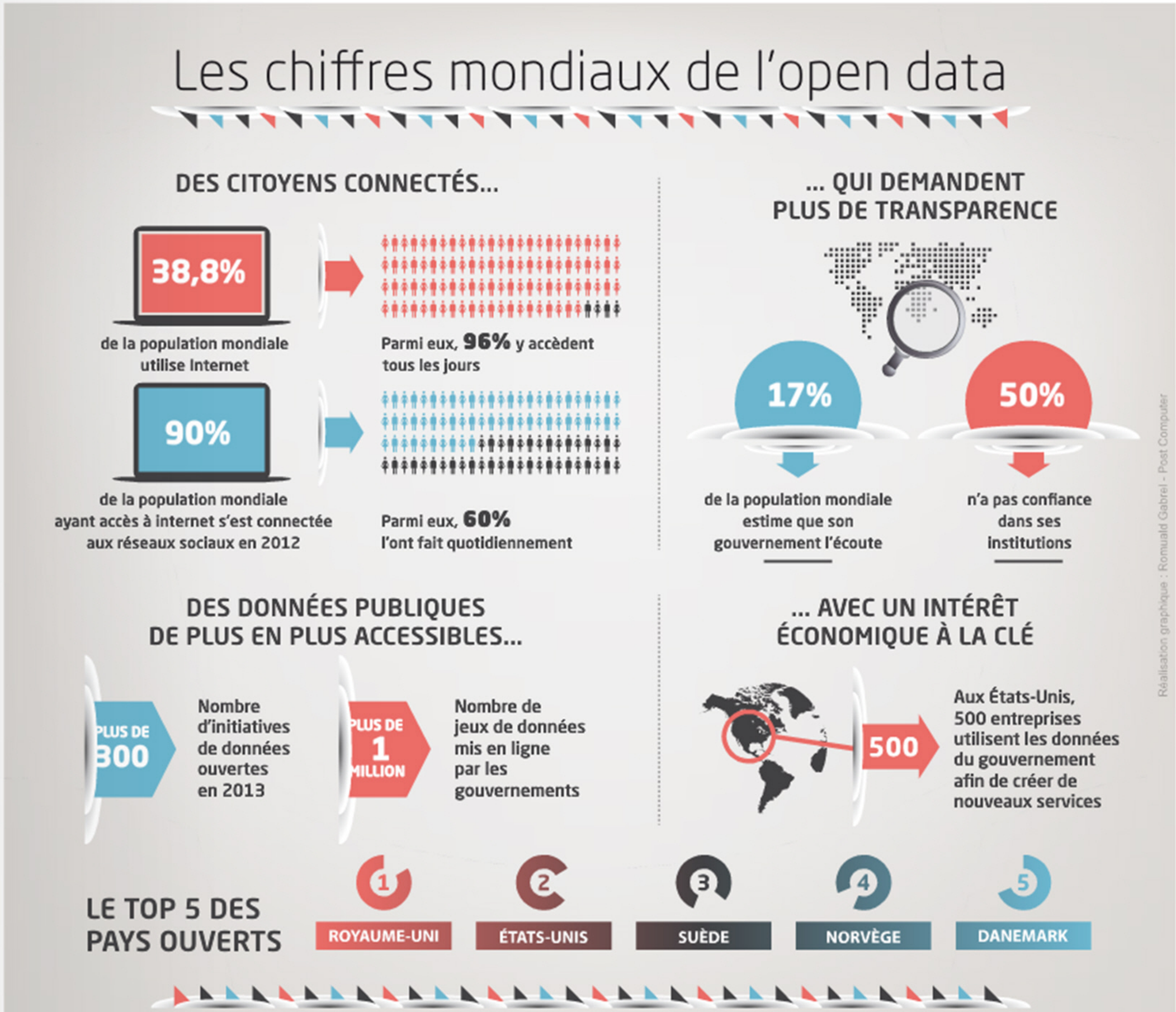
Le site britannique Fix My Street, de l'association mySociety, permet aux citoyens de prévenir les services municipaux de leur ville en cas d'éclairage défectueux, de nids-de-poule ou de poubelles renversées. À Montréal, grâce au simulateur en ligne Budgetplateau.com, les citoyens de l'arrondissement Plateau-Mont-Royal participent à l'élaboration d'une partie du budget. Ils déterminent les services municipaux qu'ils jugent prioritaires, avec l'obligation d'atteindre l'équilibre budgétaire. Aux États-Unis, le site gouvernemental We The People héberge les pétitions des citoyens américains. Si le quota de signatures est atteint, l'administration doit fournir une réponse. Avantage : dernièrement, avec plus de 65 000 signatures, une pétition a obtenu que les résultats des travaux scientifiques financés par l'argent public soient disponibles

UN MOUVEMENT QUI FAIT TACHE D'HUILE

Les 8 pays (Afrique du Sud, Brésil, États-Unis, Indonésie, Mexique, Norvège, Philippines et Royaume-Uni) à l'origine de l'Open Government Partnership ont été rejoints par 55 autres, en deux ans seulement. La France préfère pour l'instant rester en retrait.



INFOGRAPHIE ET CARTE ROMUALD GABREL



gratuitement sur Internet. Inconvénient : des pétitions très populaires obligent l'administration à se positionner sur des sujets farfelus. Ainsi, la pétition pour expulser des États-Unis le chanteur Justin Bieber (de nationalité canadienne) réunissait début février plus de 250 000 signatures…

En France, l'association SmartGov a créé la plate-forme Parlement et citoyens, encore en test, avec le collectif Démocratie ouverte et six parlementaires issus de toutes les familles politiques. Le député ou le sénateur désireux de présenter un projet de loi y lance une consultation des citoyens, lesquels commentent et enrichissent le projet. C'est ainsi que le projet de loi du sénateur Joël Labbé sur l'interdiction de l'usage non agricole des pesticides sur le territoire national, a mobilisé 459 citoyens. Leurs 3 177 contributions ont permis d'améliorer le texte avant la promulgation de la loi au *Journal officiel* le 8 février.

«*Dans quelques mois, nous mettrons en place une boîte à idées législatives sur la plate-forme*», détaille Cyril Lage, de SmartGov. «*Les citoyens pourront ainsi être à l'initiative de consultations et mobiliser leur réseau. À charge ensuite pour les parlementaires de se les approprier et de les mettre en débat.*»

C'est pour partager ce genre d'expériences que 8 pays (Afrique du Sud, Brésil, États-Unis, Indonésie, Mexique, Norvège, Philippines et Royaume-Uni) ont lancé l'Open Government Partnership en septembre 2011. Depuis, 55 pays supplémentaires les ont rejoints (voir la carte, p. 22). Les pays y participant définissent eux-mêmes un plan d'action national et s'engagent à le mettre en œuvre, des organismes indépendants évaluant les avancées de chacun. Engagements et évaluations sont publics, ce qui permet aux associations de demander des comptes à leur gouvernement.

Ce mouvement a-t-il un impact sur la démocratie ? Il est trop tôt pour le mesurer. «*Il est facile d'évaluer l'ouverture de jeux de données, mais comment évaluer qu'un pays est plus ou moins démocratique ?*, s'interroge Pierre Chrzanowski, d'OKF. *Le concept de gouvernement ouvert est relativement neuf, nous n'avons pas encore les outils intellectuels pour cela.*» Il faut aussi compter avec la volonté des politiques. «*Tous n'accueillent pas ce mouvement à bras ouvert*», considère Cyril Lage. Claire Gallon, de l'association nantaise LiberTIC, partage le même sentiment et rappelle : «*Le gouvernement ouvert est une forme de délégation de pouvoir.*» Le mouvement ne fait que débuter, aux citoyens de prendre les armes numériques et de convaincre leurs représentants. ✳

Les liens

- thegovlab.org
- data.gov
- data.gov.uk
- wheredoesmymoneygo.org
- regardscitoyens.org
- data.gouv.fr
- fixmystreet.com
- budgetplateau.com
- petitions.whitehouse.gov
- parlement-et-citoyens.fr

LABORATOIRES CITOYENS

Qui utilise les données libérées par les administrations ? «*Des quasi-experts*», regrette Charles Népote, chargé de projet à la Fondation Internet nouvelle génération (Fing). Or les données – pas seulement publiques – envahissent notre quotidien, par le biais des capteurs toujours plus fins et meilleur marché qui équipent smartphones et objets connectés. «*Comme Internet à ses débuts, les données réclament une nouvelle culture,* analyse Charles Népote. *Il faut que le plus grand nombre (citoyens, enfants, associations, PME, etc.) se les approprie.*»

Une campagne de création d'infolabs est pilotée dans ce but par la Fing et l'association LiberTICs. Les infolabs sont des lieux ouverts à tous, pour se rencontrer, découvrir les données, les manipuler, en débattre, monter des projets autour. Un prototype d'un tel endroit sera créé, du 12 au 15 juin, au festival Futur en Seine, à Paris et en Île-de France.

3 Q À

TIM DAVIES

coordinateur du programme Open Data à la World Wide Web Foundation

TIM DAVIES

L'ouverture des données est-elle le gage de plus de transparence ?

Nos démocraties sont complexes, et si nous n'avons accès qu'à des documents imprimés ou à des bribes d'informations, il nous est impossible de comprendre ce qui se passe. La transparence implique des intermédiaires compétents pour traduire les données en informations accessibles, par exemple des journalistes spécialisés dans les données. Cela demande aussi de former les citoyens.

Quelles sont les conséquences de l'open data sur la démocratie ?

Cela peut conduire les citoyens à être mieux informés, au point d'affecter leur manière de voter. L'open data peut aider à révéler les comportements corrompus ou contraires à l'éthique des politiques et des fonctionnaires. Il peut encourager la collaboration entre les citoyens et leur gouvernement afin de cocréer de meilleurs services. Les effets de l'ouverture des données varient d'un pays à l'autre.

Pourquoi est-il si difficile d'en évaluer les effets ?

La plupart des initiatives sont récentes, de sorte que les études universitaires sur leurs effets ne sont pas encore disponibles. De plus, la plupart des applications et utilisations des données ouvertes dépendent de données et de technologies provenant d'ailleurs. Il est donc difficile d'attribuer des impacts directs aux données ouvertes. Nous devons encore affiner nos méthodes d'évaluation. C'est pourquoi nous étudions, de manière approfondie, les conséquences de l'ouverture des données dans 17 pays en développement. ✳

5 Les portes dérobées des pirates du Web

La plupart du temps, ce sont les sites internet qui mettent en péril vos données personnelles, celles que vous leur avez confiées. Car il existe d'innombrables failles de sécurité. Quelles sont-elles ? Comment s'en prémunir ?

PAR
Stéphane Viossat
ILLUSTRATIONS
Umberto Mischi

1 Le formulaire, fenêtre ouverte sur vos données

Sur nombre de sites, nous pouvons entrer du texte dans des cases prévues à cet effet. Par exemple, un identifiant et le mot de passe associé chez un cybermarchand. Ou un « captcha », ce mot dont l'affichage est altéré afin de tromper les logiciels robots, et qui permet de valider un téléchargement.

Or les sites qui ne sont pas correctement sécurisés par leurs administrateurs peuvent être piratés par l'intermédiaire de ces formulaires : au lieu d'entrer le texte habituel, pseudonyme et mot de passe par exemple, une personne mal intentionnée peut taper des lignes de commandes. Ces dernières sont des instructions destinées à piloter les programmes qui, sur un serveur distant, font fonctionner le site. Cette technique s'appelle « l'injection », car il s'agit bien d'injecter des commandes dans les rouages du site afin de l'altérer.

Comment ça marche ? La principale cible de l'injection, ce sont les bases de données que renferme le site. Premier intérêt pour le pirate : elles contiennent tout ce qui concerne leurs utilisateurs (adresse e-mail, numéro de téléphone, mot de passe et même, parfois, coordonnées bancaires).

Second intérêt : ces bases de données peuvent être utilisées pour changer le contenu du site. C'est ainsi que, en janvier 2012,

les Anonymous – un mouvement hacktiviste – avaient affiché, entre autres, leur logo sur la page d'accueil d'un des sites de la Federal Trade Commission, une agence indépendante qui défend les droits des consommateurs aux États-Unis.

Il ne faut pas perdre de vue que certains pirates sont financés par de puissantes organisations criminelles. Loin d'être un épiphénomène, l'injection est considérée par les experts comme la plus grosse menace sur le Web. C'est le cas notamment de l'OWASP, organisme indépendant d'experts en sécurité. De fait, de nombreux administrateurs de sites ne mettent pas en place les mesures de sécurité permettant de s'en prémunir.

La solution est pourtant, a priori, simple : elle consiste, du côté du serveur, à systématiquement changer le texte entré par les internautes, afin qu'il ne puisse contenir les caractères spéciaux (apostrophe, point-virgule, etc.) qui permettent d'injecter des commandes, et donc de pirater vos données.

Malheureusement, même de très grands sites se font toujours prendre. Par exemple, une récente faille de type « injection » a été repérée (et colmatée depuis) dans l'un des logiciels qui font fonctionner Wikipedia, ainsi que les dizaines de milliers de « wikis » qui utilisent également le logiciel libre MediaWiki !

Comment s'en prémunir ?

L'internaute, qui n'est pas responsable, n'en reste pas moins victime puisque le site à qui il a confié des données personnelles s'est fait dévaliser. Mais il peut limiter les dégâts en stoppant la réaction en chaîne qui découle de ce vol. En effet, nous sommes nombreux, pour des raisons pratiques, à utiliser les mêmes identifiants et mots de passe pour deux, trois, quatre sites, voire plus. Par conséquent, un pirate qui aurait mis la main sur vos identifiant et mot de passe sur un premier site a potentiellement accès au second ou au troisième… auquel vous avez peut-être confié des données encore plus personnelles. Mieux vaut donc varier vos identifiants et mots de passe.

Certains outils permettent en outre de déterminer la dangerosité potentielle d'un site. Parmi eux, Web Of Trust ou WOT, qui se présente sous la forme d'une extension gratuite pour tous les navigateurs. L'outil permet d'afficher à côté de n'importe quel lien le niveau de confiance que l'on peut accorder au site vers lequel vous pointez. Chaque utilisateur de WOT peut noter les sites visités. La compilation de toutes les notes permet d'arriver à un niveau élevé de fiabilité de la notation.

D'autres systèmes fonctionnent de la même façon : la plupart des suites de sécurité intègrent ainsi un outil de notification de fiabilité des sites (McAfee Site Advisor, AVG Secure Search, etc.). Des avertissements à ne jamais prendre à la légère !

2 Dans les forums, des programmes malveillants

Aujourd'hui, les sites ne sont plus statiques mais fonctionnent comme des logiciels. Les pages sont interactives et se modifient en direct, au gré des actions de l'internaute. On parle d'ailleurs souvent d'«applications web» plutôt que de sites. Le mérite en revient à des extensions comme Flash d'Adobe mais surtout au langage de script Javascript. Celui-ci permet en effet d'insérer, dans le code d'une page web, des instructions, de vrais programmes, que tous les navigateurs modernes comprennent et interprètent.

Le résultat, c'est une menace de faille dite «XSS» ou «Cross-Site Scripting». Le X doit ici se lire comme une croix, un carrefour utilisé par les pirates pour changer fondamentalement la façon dont le site va se comporter pour ses visiteurs.

Comment ça marche? L'idée est simple: à l'endroit où l'internaute laisse des messages sur un site, dans un forum par exemple, les utilisateurs malintentionnés vont laisser… un programme! Le message lisible aura l'air normal, mais lorsqu'un internaute l'affichera, son navigateur lancera automatiquement le programme invisible. Les effets peuvent s'avérer dévastateurs: vols des identifiants, redirection vers un site malveillant… Des centaines de milliers de sites sont potentiellement compromis.

Comment s'en prémunir? Même si les navigateurs disposent de plus en plus de mécanismes de sécurité pour se protéger des failles XSS, dans la plupart des cas, la menace reste redoutable. Pour s'en prémunir complètement, l'internaute n'a qu'une seule solution: désactiver Javascript dans son navigateur, l'option étant toujours disponible dans les préférences du programme. Ce choix radical pose un problème pratique: la plupart des sites ne s'afficheront plus de façon optimale.

Une astuce, tout de même, pour tester vous-même la fiabilité des forums que vous fréquentez: créez-y un message dans lequel vous insérez ces caractères: <script>alert(«Bonjour!»); </script>. Une fois le message posté, affichez-le. Si une fenêtre s'ouvre avec «Bonjour!» inscrit, fuyez le site: il est vulnérable aux failles XSS.

Derrière l'authentification, l'usurpation

3 Lorsque vous arrivez sur un site sur lequel vous avez ouvert un compte, vous devez taper vos identifiant et mot de passe pour accéder à votre profil. C'est votre navigateur qui se charge d'envoyer au serveur du site les informations qui permettent de vous reconnaître. Mais cette simple opération d'authentification comporte des risques !

Comment ça marche ? Une session commence, session à laquelle le site administrateur attribue un numéro d'identification (lequel n'a rien à voir avec votre identifiant). Il arrive que cette « immatriculation » s'affiche clairement, en chiffres et en lettres, dans la barre d'adresse en haut de votre navigateur.

Lorsqu'un pirate repère un site qui fonctionne ainsi, son logiciel spécialisé s'attellera, à partir de l'adresse, à tester des combinaisons de chiffres et de lettres. Le but : accéder automatiquement à la session d'identification d'un client. Et il y parviendra plus facilement si, quelque part, même à des milliers de kilomètres de lui, un client n'a pas pensé à se déconnecter de sa session. Et que le site, comme beaucoup, ne limite pas la durée de la session.

Si un site que vous utilisez est ainsi compromis, ce sont toutes vos informations personnelles et votre compte qui peuvent être volés. Cela peut aller jusqu'à l'usurpation d'identité. S'il s'agit d'un site marchand, le pirate pourra lancer des achats à votre insu sur ce site (impossible en revanche pour lui de récupérer les chiffres de la carte de crédit, partiellement masqués), s'il s'agit d'un site de messagerie, il pourra lire tous vos messages, etc.

Comment s'en prémunir ? Comme il n'est pas possible de savoir si le site ferme automatiquement la session d'identification lorsque la fenêtre du navigateur est fermée, il faut agir avec prudence : l'internaute doit effectuer la manœuvre manuellement en cliquant sur le bouton « Déconnexion ». A fortiori si l'ordinateur sur lequel il s'est connecté est un ordinateur public, dans un cybercafé par exemple.

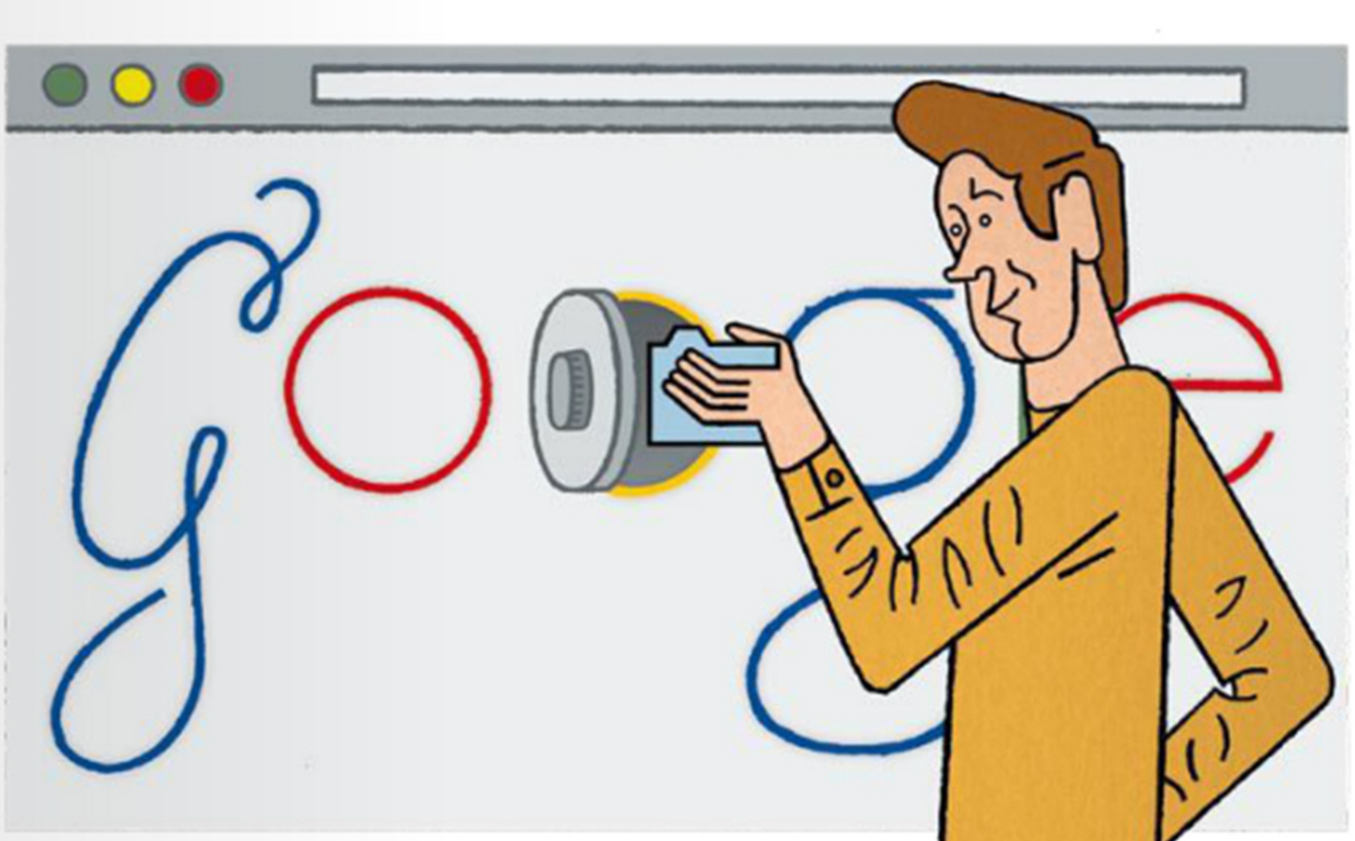
4 Les dossiers cachés, en libre accès sur Google

Un site web, c'est comme votre ordinateur : il s'organise sous la forme de dossiers et de fichiers. Ainsi, pour le site fictif www.monsite.fr, il existerait sur le serveur un dossier «monsite». Et s'il y avait un forum à l'adresse www.monsite.fr/forum, on trouverait les fichiers correspondants dans le sous-dossier «forum». Les webmestres font en sorte que les internautes ne puissent accéder qu'à certains fichiers : ceux contenant les éléments graphiques du site par exemple. Les autres ne sont accessibles qu'aux administrateurs, notamment les fichiers clients.

Comment ça marche ? Dans le cas d'une mauvaise sécurisation, des dossiers et fichiers cachés deviennent accessibles à tous. Un pirate testera les ajouts à l'adresse de base du site, par exemple l'adresse www.monsite.fr/mots_de_passe/ pour accéder au dossier renfermant les mots de passe des clients.

Lorsque la faille est présente, les documents «cachés» se retrouvent la plupart du temps indexés par… Google ! Ses logiciels arpentent en effet le Web pour y récupérer le contenu des sites. Régulièrement, de grandes entreprises et organismes institutionnels sont victimes de cette faille, comme l'Agence nationale de sécurité sanitaire qui, en 2012, a laissé en libre accès plus de 8 000 documents confidentiels.

Comment s'en prémunir ? Personne ne peut garantir qu'un document laissé sur Internet reste confidentiel à jamais… À l'heure où beaucoup de gens stockent leurs données dans un «cloud», il faut impérativement garder cela en tête. Le bon vieux disque dur rangé au fond du tiroir du bureau reste le meilleur outil pour conserver vos fichiers les plus confidentiels à l'abri des regards.



5 Erreur de logiciel, prise de contrôle parfaite

Des failles sont en permanence découvertes dans les logiciels utilisés par les administrateurs de sites. Ce fut le cas, en 2011, d'Apache CXF, un logiciel libre utilisé par les webmestres, téléchargé 22 millions de fois.

Comment ça marche ? Les erreurs dans les logiciels sont, pour les pirates, des portes dérobées : ils les utilisent pour contrôler les ordinateurs sur lesquels le programme défectueux est installé. Il est donc vital pour les administrateurs de sites d'arrêter d'utiliser les logiciels déficients ou de les réparer si une «rustine» existe. Le problème, c'est qu'il y a des milliers de logiciels différents, et aucune base de données qui centralise les informations sur les failles des programmes.

Comment s'en prémunir ? Les administrateurs passent un temps considérable à grappiller l'information sur des bases éparses, annonces, listes de diffusion, etc. Ce temps perdu, c'est autant de temps gagné pour les pirates qui passent par les portes dérobées avant qu'elles se referment. Aux internautes de rester vigilants. En multipliant les identifiants et mots de passe… et en les changeant régulièrement !

À quoi ressemblera le PC de demain?

Le physicien Michio Kaku a tenté de répondre à cette question dans le livre *Une brève histoire du futur* qui vient de paraître. En appliquant une méthode scientifique. Extraits choisis.

PAR
Sophie Coisne

CHRISTOPHE L

Demain, pourrons-nous lire nos fichiers sur des écrans transparents et tactiles, comme Tom Cruise dans *Minority Report* (Steven Spielberg, 2002) ?

« À TERME, LE MOT ORDINATEUR FINIRA PAR DISPARAÎTRE DE NOTRE VOCABULAIRE »

ANDREA BRIZZI

MICHIO KAKU, PHYSICIEN DES CORDES AU CITY COLLEGE DE NEW YORK

Je me souviens encore très bien de Mark Weiser me présentant sa vision du futur, il y a près de vingt ans, dans son bureau situé au cœur de la Silicon Valley. Force gestes à l'appui, il me décrivait avec enthousiasme l'avènement d'une révolution qui allait changer le monde. Weiser faisait partie de l'élite de l'informatique et travaillait au Xerox Parc (le Palo Alto Research Center, centre de recherche pionnier en matière d'ordinateur personnel, d'imprimante laser ou d'interfaces graphiques de type fenêtre). *[…]*

[Il] avait alors forgé l'expression « informatique ubiquitaire ». Voyant très au-delà du modèle de l'ordinateur personnel qui dominait à l'époque, il prédisait que, baisse des coûts et abondance aidantes, les puces envahiraient un jour l'environnement. On en trouverait dans nos habits, nos meubles, sur les murs et même à l'intérieur de notre corps. *[…]* Dans le contexte de l'époque, la vision de Weiser frisait le ridicule. *[…]*

[Ses] rêveries prophétiques se fondaient sur la *« loi de Moore »*, une règle générale que vérifie l'industrie l'informatique depuis plus de cinquante ans et qui rythme l'évolution de la civilisation avec la régularité ou presque d'un métronome. Cette loi stipule simplement que la puissance informatique double tous les dix-huit mois. Annoncée pour la première fois en 1965 par Gordon Moore, l'un des fondateurs de la société Intel, cette loi d'apparence anodine a contribué à révolutionner l'économie mondiale, à engendrer de fabuleuses richesses et à bouleverser de manière irréversible notre façon de vivre. C'est en vertu de la loi de Moore, par exemple, que les jeux informatiques sont presque deux fois plus puissants d'un Noël à l'autre (en termes de nombre de transistors mobilisés).

Avec les années, les gains de cette loi exponentielle s'accumulent de façon monumentale. On reçoit parfois une carte d'anniversaire qui se met à chanter « Happy birthday » quand on l'ouvre. Croyez-le ou non, mais la puce qu'elle contient dépasse en puissance informatique toute celle dont disposaient les Forces alliées en 1945. Hitler, Churchill ou Roosevelt auraient sans aucun doute tué pour la posséder. Et nous, qu'en faisons-nous ? L'anniversaire passé, la carte est jetée et la puce avec… *[…]*

Grâce à la loi de Moore, il est possible de prédire l'évolution de l'informatique à court terme. Durant la décennie à venir, les puces associées à des capteurs très sensibles permettront de détecter les maladies, les accidents et autres situations d'urgence, et de nous alerter avant qu'il ne soit trop tard. Jusqu'à un certain point, elles sauront reconnaître la voix et les visages, et communiquer dans notre langue. Elles bâtiront des mondes virtuels entiers, à peine imaginables aujourd'hui. Vers 2020, le prix d'une puce aura sans doute plongé sous la barre du centime, le prix d'un bout de papier. À terme, le mot « ordinateur » finira par disparaître de notre vocabulaire. *[…]*

Futur proche
(aujourd'hui à 2030)

Alors que l'informatique ubiquitaire vise à porter l'ordinateur dans notre monde par la prolifération de puces, le propos de la réalité virtuelle est exactement inverse : nous placer dans le monde des ordinateurs. La réalité virtuelle fut introduite par les militaires dans les années 1960 pour l'entraînement des hommes. Un simulateur comprenant un écran et un joystick a ainsi permis aux pilotes, par exemple, d'apprendre à se poser sur un porte-avions. En cas de guerre nucléaire, des généraux et responsables politiques physiquement éloignés auraient également pu se réunir à distance dans le cyberespace. Aujourd'hui, en vertu de la croissance exponentielle de la puissance informatique, il est possible de vivre dans un monde entièrement simulé. Nous contrôlons un avatar (une image animée qui nous représente) qui rencontre d'autres avatars, explore des mondes imaginaires, et peut même tomber amoureux et se marier. *[…]*

La réalité virtuelle fait déjà partie intégrante des jeux vidéo.

La puissance informatique augmentant, nous utiliserons bientôt nos lunettes pour explorer des mondes immatériels. Avant d'aller faire du shopping ou de visiter un lieu exotique, nous effectuerons d'abord une reconnaissance virtuelle très réaliste. De la même manière, nous pourrons marcher sur la Lune, prendre des vacances sur Mars, visiter les plus riches musées ou admirer les plus belles vitrines des plus beaux magasins à l'étranger, et décider ensuite, en connaissance de cause, où nous rendre vraiment.

Jusqu'à un certain point, nous jouirons aussi de la sensation du toucher. La technologie dite « haptique » vise précisément à nous faire ressentir les objets informatiquement générés que nous saisirons dans le cyberespace. Elle fut d'abord développée par des scientifiques qui devaient manipuler des matériaux hautement radioactifs avec des bras robotisés téléguidés, ainsi que par des militaires qui souhaitaient que les pilotes en phase d'apprentissage dans les simulateurs de vol puissent sentir une résistance réaliste via le joystick. Pour recréer le sens du toucher, les chercheurs ont conçu un dispositif composé de ressorts et d'engrenages qui réagit à l'appui d'un doigt par une poussée en sens inverse. Quand nous glissons un doigt sur une table virtuelle, par exemple, le dispositif nous fait ressentir sa surface de bois dur. Nous pourrons de cette façon toucher les objets que nous verrons dans le monde virtuel affiché par nos lunettes ou nos lentilles, ce qui complétera parfaitement l'illusion.

La sensation du toucher peut aussi être rendue par une surface hérissée de milliers de minuscules pointes, dont les hauteurs sont contrôlées par ordinateur. En réponse au glissement d'un doigt, il est alors possible de simuler la texture d'un bois lisse, du papier de verre ou de tissus soyeux. L'emploi de gants spéciaux permettra de toucher de façon réaliste une grande variété d'objets et de surfaces. Cette technologie sera très utile pour les chirurgiens de demain, qui s'entraîneront sur des représentations tridimensionnelles de patients, et pour qui, lors d'une opération délicate, il est impératif de ressentir la pression des doigts. Elle nous rapproche également du fameux « holodeck », grâce auquel les héros de la série Star Trek se baladent dans des mondes virtuels, en touchant ce qui s'y trouve. Nous vagabonderons dans une pièce vide en visualisant toutes sortes d'objets fantastiques à travers nos lunettes ou nos lentilles de contact. Quand nous les atteindrons et les saisirons, un dispositif haptique s'élèvera du sol et en simulera la texture.

Une brève histoire du futur, **Michio Kaku, coll. « Flammarion Documents et Essais », Flammarion, avril 2014, 24 €.**

LES 5 ARGUMENTS DE VENTE DE MICHIO KAKU

1. *[Mon livre]* se fonde sur des entretiens que m'ont accordés plus de 300 chercheurs de pointe, ceux qui sont aux avant-postes de la découverte.

2. Chaque développement scientifique proposé est compatible avec la physique actuellement connue.

3. Les quatre forces et les lois fondamentales de la nature sont désormais bien comprises, et il n'y a guère de changements majeurs à attendre à leur sujet.

4. Toutes les technologies mentionnées existent déjà à un titre plus ou moins expérimental.

5. Je suis un scientifique de profession, un homme de l'intérieur qui dispose d'un regard direct sur les technologies de pointe.

Moyen terme
(2030-2070)

Combien de temps la révolution informatique actuelle va-t-elle encore perdurer ? La question mérite d'être posée, car tout a une fin, y compris la loi de Moore, et avec elle l'augmentation spectaculaire de la puissance informatique qui, depuis le milieu du siècle précédent, soutient la croissance économique. Il est naturel pour nous de bénéficier de produits informatiques toujours plus complexes. Si nous achetons chaque année de nouveaux modèles, c'est qu'ils sont en gros deux fois plus performants d'un coup sur l'autre. Mais avec la fin de la loi de Moore, chaque génération de matériel sera aussi puissante que la précédente, alors pourquoi en changerions-nous ?

Comme les puces se logeront alors dans une vaste gamme de produits, la faillite de la loi de Moore pourrait entraîner une véritable catastrophe économique. Le ralentissement puis l'arrêt d'une industrie entière provoqueraient la perte de millions d'emplois, avec des conséquences dans tous les autres secteurs d'activité. L'augmentation de la puissance des ordinateurs doit beaucoup à la technologie de la puce, et sa capacité à intégrer des centaines de millions de transistors sur une surface de silicium de la taille d'un ongle. La loi de Moore résulte pour une large partie de la miniaturisation toujours croissante des transistors, elle-même due à la longueur d'onde de plus en plus petite du rayonnement ultraviolet utilisée pour les graver. Mais le processus de miniaturisation ne pourra se poursuivre indéfiniment. À un certain stade, il deviendra physiquement impossible de graver des transistors plus petits. On peut même estimer en gros que l'effondrement ultime de la loi de Moore interviendra quand le transistor aura atteint les dimensions de l'atome.

Vers 2020 ou peu après, la loi de Moore va donc progressivement cesser de se vérifier. Avec des transistors plus petits, des effets quantiques entreraient en jeu et les électrons ne resteraient plus sagement dans leurs fils. L'élément le plus mince d'un ordinateur atteindra peut-être une épaisseur de cinq atomes. Le principe d'incertitude d'Heisenberg indique qu'on ne peut pas connaître avec précision à la fois la position et la vitesse d'une particule. Même si cela va à l'encontre de l'intuition, à l'échelle atomique, il est tout bonnement impossible de savoir où se trouvent les électrons, et donc de les contraindre à se maintenir dans un fil ou dans un élément ultramince. Ils s'échapperont nécessairement, provoquant un court-circuit. *[…]* Pour la suite de ce chapitre, je supposerai *[…]* que les physiciens ont trouvé un successeur à la puce actuelle, mais que la puissance informatique croît à un rythme bien plus lent qu'auparavant. Celle-ci continuera à évoluer de manière exponentielle, en doublant non tous les dix-huit mois, mais en plusieurs années seulement. ❄

DES LOIS POUR LIRE L'AVENIR

Même s'il est dans la nature des prédictions de ne jamais tomber tout à fait juste, on peut au moins essayer de les rendre aussi autorisées que possible, et cela par la prise en compte des quatre forces fondamentales régissant tous les phénomènes de l'Univers.

La force de gravitation. Isaac Newton nous a légué une mécanique capable de déterminer le mouvement des objets par les forces qu'ils subissent, nous affranchissant ainsi des vagues principes mystiques et métaphysiques qui avaient cours jusqu'alors. Sa théorie contribua à l'avènement de la Révolution industrielle et à l'usage de la vapeur, toute puissante dans les locomotives par exemple.

La force électromagnétique. Elle illumine nos villes et anime nos appareils. Les travaux de Thomas Edison, Michael Faraday, James Clerk Maxwell et quelques autres sur l'électricité et le magnétisme ont semé les germes de la révolution électronique à laquelle nous devons aujourd'hui tant de merveilles. Nous nous rendons compte de l'importance de cet apport à chaque panne d'électricité, quand la société se trouve tout à coup ramenée cent ans en arrière.

Les forces nucléaires forte et faible. Avec l'équation $E = mc^2$ posée par Einstein et la fission de l'atome dans les années 1930, les scientifiques ont commencé à comprendre l'illumination des cieux, à percer le secret des étoiles. Ce savoir a donné accès au redoutable pouvoir de l'armement atomique, mais aussi à l'exploitation potentielle de cette formidable puissance au service du bien commun. Ces forces sont désormais bien cernées. La force de gravitation se décrit aujourd'hui dans le cadre de la théorie de la relativité générale d'Einstein, et les trois autres dans celui de la physique quantique, cette théorie grâce à laquelle se révèlent les mystères du monde subatomique. C'est à la physique quantique que nous devons le transistor, le laser et toute la révolution numérique qui sous-tend la société moderne. *[…]*

SiConsult, fondé par Christian Lubat

Christian Lubat et sa petite équipe d'ingénieurs de SiConsult aiment les abeilles… surtout quand elles sont connectées. Jeune pousse créée en 2007 près de Toulouse, SiConsult a eu l'idée d'appliquer aux ruches son savoir-faire dans le domaine des objets communicants. L'aventure commence quand des apiculteurs racontent à Christian Lubat comment ils se font voler leurs ruches. L'ingénieur de 36 ans décide alors de travailler sur un antivol de ruches par géolocalisation, le Beeguard. «*Il a fallu miniaturiser le dispositif jusqu'à 22 millimètres d'épaisseur, le rendre très économe en énergie, et imaginer un réseau de capteurs qui renseignent l'apiculteur à distance sur la température et le poids atteint par les ruches*», détaille-t-il.

Lors d'un salon, des professionnels lui demandent s'il n'aurait pas quelque chose contre les frelons asiatiques, espèce invasive, redoutables prédateurs des abeilles. SiConsult imagine alors un piège connecté et géolocalisé par satellite. Sélectif, il permet aux mouches, abeilles et autres papillons de sortir du dispositif par un chemin tracé pour eux. Le frelon, lui, reçoit une décharge électrique et se noie dans un réservoir. Les premières expérimentations sur 9 pièges ont permis d'attraper 1700 frelons en 63 semaines, avec un taux de sélectivité de 80%. Commercialisation cet été, en location ou à la vente, aux apiculteurs mais aussi aux communes qui souhaitent protéger leurs administrés d'éventuelles piqûres. ❋ **Aline Richard**

SICONSULT EN CHIFFRES

282 000 €
CHIFFRE D'AFFAIRES 2013

4 ingénieurs
PERSONNEL AU SEIN DE LA SOCIÉTÉ

700 €
PRIX D'UN «E-PIÈGE» À FRELONS

GABARDA/SICONSULT

@TWEETS

AFRIQUE Pour les start-up désireuses de s'implanter en Afrique, la société 88mph, fonds d'amorçage à capitaux privés, propose de les accompagner via un investissement moyen de 25 000 dollars et une immersion de trois mois à Nairobi (Kenya), au Cap (Afrique du Sud) et bientôt à Lagos (Nigeria). **R&D** Spécialiste des services sur Internet et de l'e-commerce, le Japonais Rakuten lance à Paris un centre de recherche et développement des technologies, le Rakuten Institute of Technology. Il accueillera jusqu'à 20 ingénieurs d'ici à 2015.

NOUVELLE FORMULE

ABONNEZ-VOUS

au magazine des nouvelles technologies et de la science appliquée

1 AN - 6 numéros

33€

au lieu de ~~41,40€~~*

Soit **20%** de réduction

Et recevez en cadeau

ce numéro des **Dossiers de La Recherche** sélectionné par la rédaction

Les énergies de demain

Comment anticiper la consommation croissante d'énergie, à l'heure où les hydrocarbures se raréfient, où le nucléaire inquiète, et où les énergies propres manquent encore de maturité ? Face aux limites du modèle actuel, se développent déjà des initiatives pour l'avenir. Nous vous les présentons dans ce numéro.

BULLETIN D'ABONNEMENT

À retourner sous enveloppe affranchie à La Recherche - Service Abonnements - 17, route des Boulangers - 78926 Yvelines cedex 9

PDRC09

☐ **OUI, je souhaite m'abonner aux Dossiers de La Recherche : 1 AN - 6 numéros + le n°47 des Dossiers : Les énergies de demain au prix de 33 € au lieu de ~~41,40€~~* soit 20% de réduction.**

☐ **Je préfère m'abonner à l'offre complète : 1 AN - 6 numéros des Dossiers de La Recherche + 12 numéros de La Recherche + le n°47 des Dossiers : Les énergies de demain au prix de 89 € au lieu de ~~118,20€~~* soit 25% de réduction.**

J'indique ci-dessous mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code Postal : |_|_|_|_|_|

Ville : _____

Téléphone : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Si vous souhaitez recevoir des offres de notre part, merci de nous indiquer votre e-mail :

_____ @

Je règle par :

☐ Par chèque à l'ordre de La Recherche ☐ Par carte bancaire

Numéro CB : |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_|

Notez aussi les 3 derniers chiffres du numéro inscrit au dos de votre carte bancaire, au niveau de la signature : |_|_|_|

Expire fin : |_|_| |_|_|

Signature obligatoire

Sophia Publications - SA au capital de 7 615 531 € - 562 029 223 RCS Paris • **Service abonnements :** ✆ France : 01 55 56 71 15 - ✆ Etranger : 00 33 155 56 71 15 • **E-mail :** abo.recherche@groupe-gli.com

*Je peux acquérir séparément les Dossiers de La Recherche au prix de 6€90 et La Recherche au prix de 6€40. Offre réservée aux nouveaux abonnés valable jusqu'au 30/06/2014 dans la limite des stocks disponibles. Loi informatique et libertés : vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des informations vous concernant. Elles pourront être cédées à des organismes extérieurs sauf si vous cochez cette case ❑.

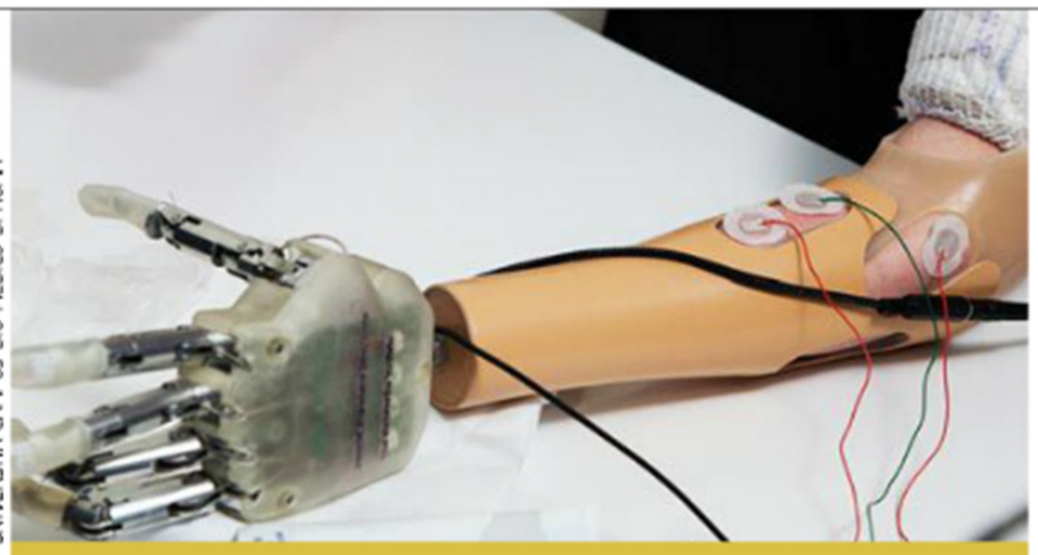
200

fois plus résistant que le verre normal. C'est le matériau qu'a obtenu une équipe de physiciens canadiens. Comment ? À l'aide d'un laser, elle a gravé, à l'intérieur d'une lamelle de verre, un réseau de microfissures à l'image de celui qu'on trouve dans les coquilles de certains mollusques !

DR

Jouez contre le cancer

Ce jeu vidéo est le dernier-né des jeux de science participative. Conçu par la fondation britannnique Cancer Research UK et disponible gratuitement sur smartphone, « Genes in space » aide les chercheurs en génétique du cancer. À bord d'un vaisseau spatial, le joueur doit collecter un matériau précis et se diriger vers les zones qui en abritent le plus. Derrière ce matériau se cachent en fait des informations génétiques de milliers de patients. Le chemin parcouru par le joueur sera analysé et permettra de découvrir des mutations dans l'ADN des malades.



UNIVERSITA CAMPUS BIO-MEDICO DI ROMA

UNE MAIN QUI FAIT SENSATION

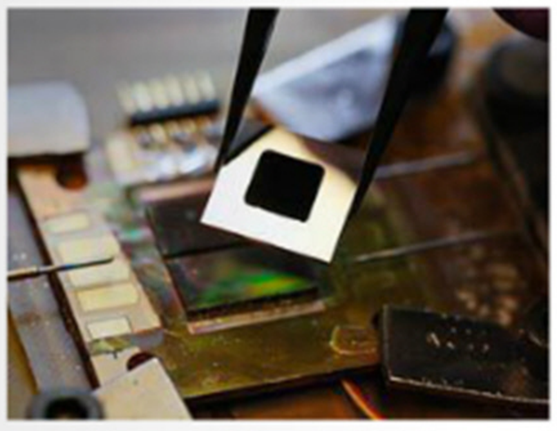
Recouvrer le sens du toucher grâce à une main artificielle ? Ce pourrait être un jour possible pour les personnes amputées d'un bras. Un Danois de 36 ans, amputé du bras gauche il y a dix ans, a ressenti des sensations tactiles avec une prothèse de main expérimentale : il est parvenu à faire la distinction entre des objets ronds ou carrés, durs ou mous. « *Le patient a pu ajuster les forces appliquées avec sa main artificielle sur différents objets*, explique Gabriel Baud-Bovy, de l'institut italien de technologie à Gênes. *Il a pu ainsi manipuler ces objets et percevoir leur forme et leur consistance, alors qu'il avait les yeux bandés.* » Le dispositif, implanté au patient en février 2013 à l'hôpital Gemelli de Rome, comprend une main et un bras robotisés, reliés à quatre électrodes. Ces dernières sont greffées sur le haut du bras, resté intact, au niveau des nerfs reliant le membre au système nerveux central. La main est dotée de capteurs qui réagissent à la force exercée par les tendons des doigts artificiels. Lorsque le patient saisit un objet, les informations captées sont traduites en impulsions électriques interprétables par son système nerveux. Ces impulsions sont transmises aux électrodes greffées sur son bras et parviennent finalement à son cerveau. Pour Gabriel Baud-Bovy, « *ce système représente une avancée significative mais il reste encore un long chemin à parcourir pour restaurer entièrement le sens du toucher. Par exemple, l'expérience ne démontre pas que le patient soit parvenu à percevoir les textures des objets* ».

Des étudiants envoient leur projet en l'air

Ce cube de 10 cm de côté pesant 1 kg et consommant 1 W d'électricité est un satellite, le premier entièrement conçu et réalisé en Belgique. Baptisé « Oufti-1 », il devrait être lancé par l'Agence spatiale européenne au début 2015. Fruit d'un projet pédagogique avec des étudiants de l'université de Liège, Oufti-1 sera un relais spatial de communications numériques entre radio-amateurs, avec transmission simultanée de voix et de données.

ULG - JEAN-LOUIS WERTZ

Ce minisatellite belge sera mis en orbite en 2015.



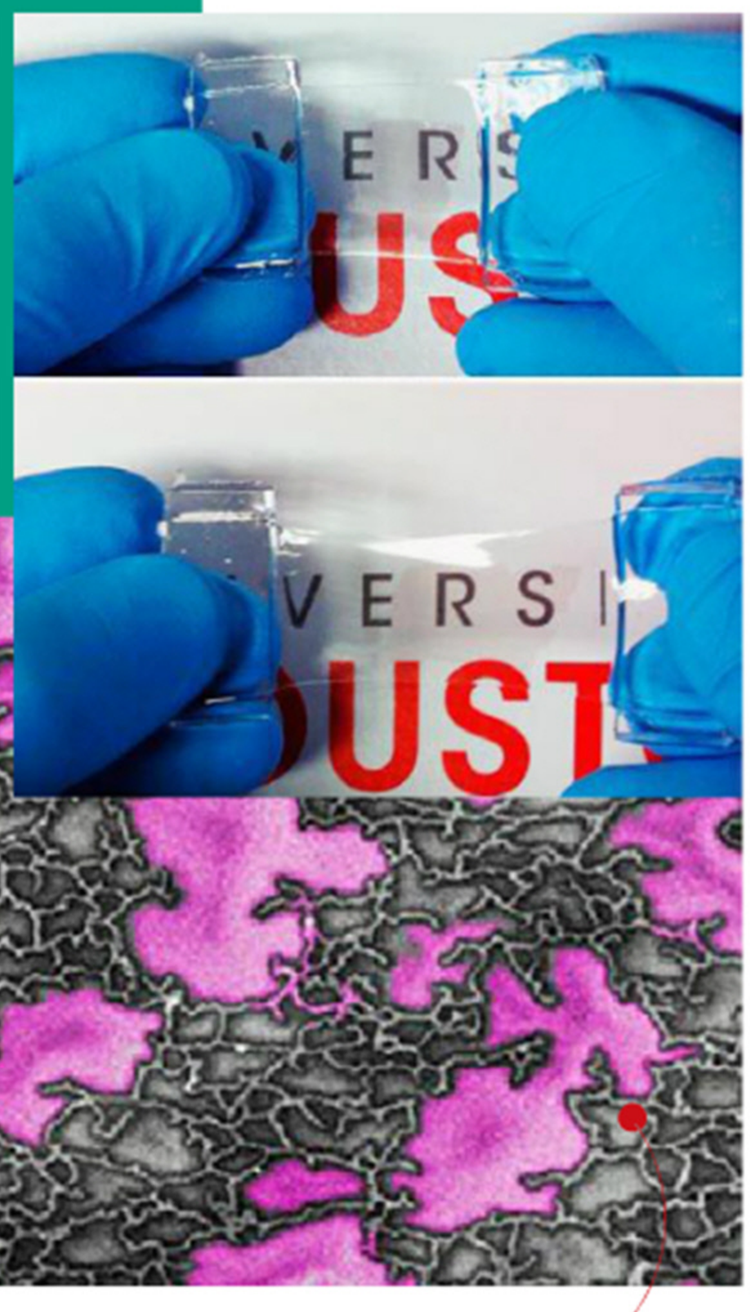
JOHN FREEDMAN, MIT

Cellule solaire dopée

Bien des photons en provenance du Soleil n'ont pas assez d'énergie pour exciter les électrons d'un panneau photovoltaïque et sont gâchés en étant émis sous forme de chaleur. Des chercheurs du MIT, aux États-Unis, ont retourné cette situation à leur avantage. Dans leur dispositif, la lumière est d'abord absorbée par des nanotubes de carbone – des feuillets d'atomes de carbone repliés en cylindres – qui chauffent jusqu'à 1 000 °C. Un cristal situé sous cette couche brille et émet vers une cellule photovoltaïque des photons dont l'énergie est assez boostée pour créer de l'électricité.

CONNEXION EN OR

Demain, nos écrans tactiles seront souples et nos cellules photovoltaïques flexibles. Pour leur conférer cette propriété, un physicien de l'université de Houston, aux États-Unis, a mis au point un réseau de circuits électriques interconnectés de quelques nanomètres (photos). Transparent, il reste bon conducteur d'électricité même lorsqu'on l'étire à 160 %. Pourquoi ? Parce qu'il est constitué d'un nanomaillage en or, doté d'un nombre très élevé d'interconnexions. Du coup, lorsqu'on l'étire, de nombreux circuits se brisent mais il en reste toujours assez pour continuer de conduire l'électricité. Cette technologie constitue une alternative au graphène et aux nanotubes de carbone pour le développement d'électrodes transparentes étirables.



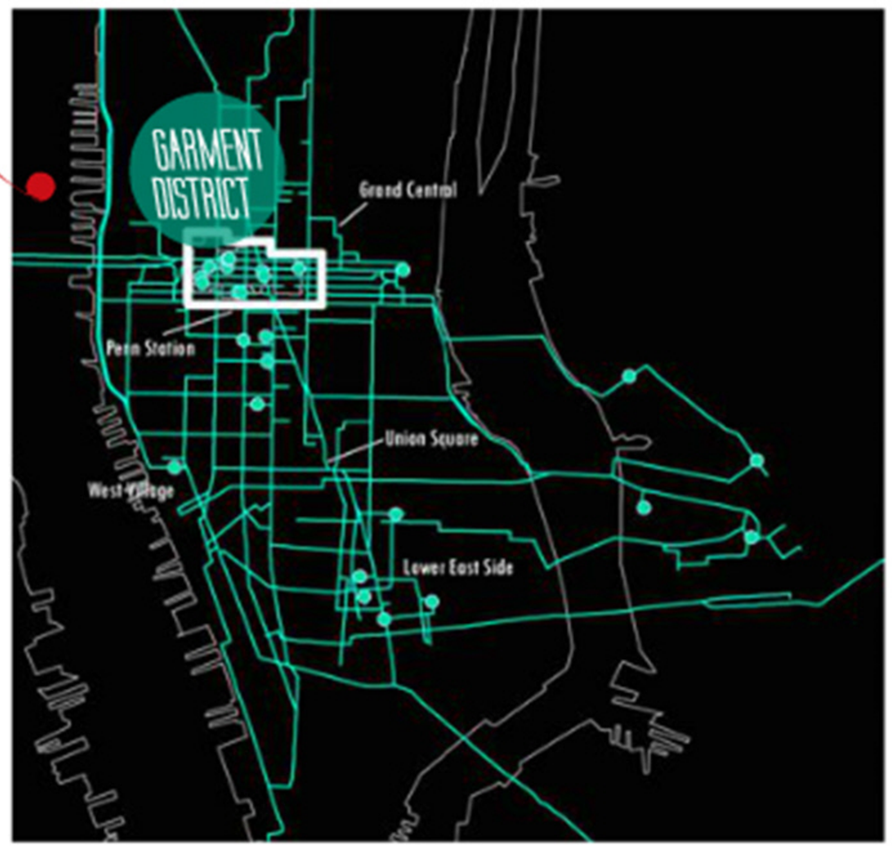
UNIVERSITY OF HOUSTON

Même étiré, le nanomaillage reste conducteur : si des connexions se brisent (en rose), il en reste assez (en gris) pour conduire l'électricité.

La mode cartographiée

Aux États-Unis, des chercheurs du MIT et de l'université de Californie du Sud se sont penchés sur l'activité économique du secteur de la mode à New York. Pendant quinze jours, ils ont géolocalisé des designers new-yorkais, au moyen de leurs smartphones et du réseau social Foursquare, afin de suivre leurs déplacements. Résultat : 80 % des trajets ont pour destination Garment District, le cœur historique de l'industrie de l'habillement dans Manhattan. Une étude qui démontre l'importance de la proximité géographique des collaborateurs dans l'activité économique, à contre-courant de la tendance à la décentralisation et au déclin des noyaux industriels.

À New York, les designers ont un « place to be » : Garment District.



SARAH WILLIAMS AND ELISABETH CURRID-HALKETT

Remplacer ce cher platine

L'environnement ou le porte-monnaie ? Aujourd'hui, pour obtenir du dihydrogène, gaz essentiel à l'industrie, on utilise un procédé peu écologique qui rejette du dioxyde de carbone, puissant gaz à effet de serre. Une solution plus propre serait l'électrolyse… Mais elle utilise un matériau rare et cher : le platine ! Des chercheurs américains et danois ont trouvé une solution. Ils ont modifié la structure d'une molécule abondante et bon marché, le disulfure de molybdène, et lui ont conféré des propriétés équivalentes à celles du platine, sans l'inconvénient du prix.

KRISTIN NOLAN

Pile pour saumons

À peine plus grosse qu'un grain de riz mais deux fois plus puissante que les dispositifs actuels, cette pile alimentera un émetteur acoustique qui permettra de surveiller les saumons de petite taille lors de leur migration. Elle a été conçue au Pacific Northwest National Laboratory, aux États-Unis.

ALAIN HERZOG/EPFL

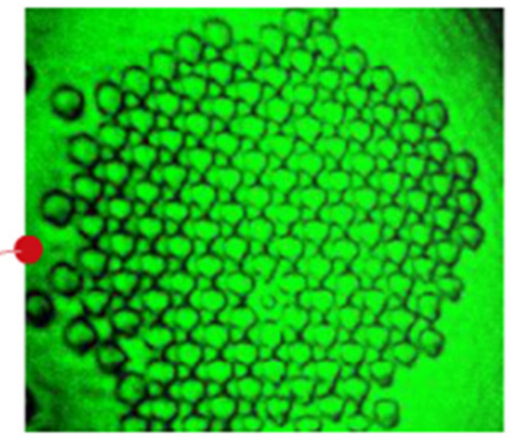
ILS DONNENT UNE IMPULSION À LA FIBRE

Le débit des fibres optiques est en passe d'augmenter considérablement. Luc Thévenaz et Camille-Sophie Brès (photo), de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), viennent en effet de trouver le moyen de compresser drastiquement l'information lumineuse dans les fibres optiques. Habituellement, deux impulsions lumineuses consécutives envoyées à l'intérieur d'une fibre optique sont espacées d'environ 4 fois la durée du signal de départ. Ces « intervalles de gardes » évitent aux impulsions lumineuses de se recouvrir, ce qui brouillerait l'information.

Toutefois, il existe une astuce théorique : des signaux appelés « impulsions de Nyquist » permettent de se passer de ces intervalles pour compacter au maximum l'information sans l'altérer. À la manière des pièces d'un puzzle, les impulsions lumineuses se succèdent et s'imbriquent sans se chevaucher. Or l'équipe de l'EPFL a réussi pour la première fois à générer ces impulsions en laboratoire. Une prouesse qui lui a permis de compresser environ dix fois l'information lumineuse. « *Cela ne signifie pas que le débit des fibres optiques augmentera immédiatement d'un facteur 10* », tempère Philippe Gallion, de Telecom Paris Tech. De fait, il existe des limites aux réseaux de fibres optiques : des phénomènes de bruit accumulé, de dispersion et de non-linéarité qui altèrent le signal. Néanmoins l'équipe de l'EPFL a relevé un défi expérimental de taille et « *la qualité des signaux qu'ils ont générés est extraordinaire* ».

Miroir poids plume

Un miroir ultraléger constitué de particules microscopiques vient d'être fabriqué à l'École polytechnique fédérale de Lausanne.
À l'aide d'un laser, les chercheurs ont lié 150 particules de polystyrène en suspension dans l'eau, créant ainsi une surface réfléchissante. La lumière exerce en effet sur ces billes de 3 microns de diamètre une force qui les maintient au point de convergence du faisceau laser. C'est une première. Et peut-être, à long terme, une solution pour des télescopes spatiaux poids plumes.



TOMASZ M. GRZEGORCZYK, JOHANN ROHNER, JEAN-MARC FOURNIER

150 billes de polystyrène, en suspension dans l'eau, liées par un laser : quel miroir !

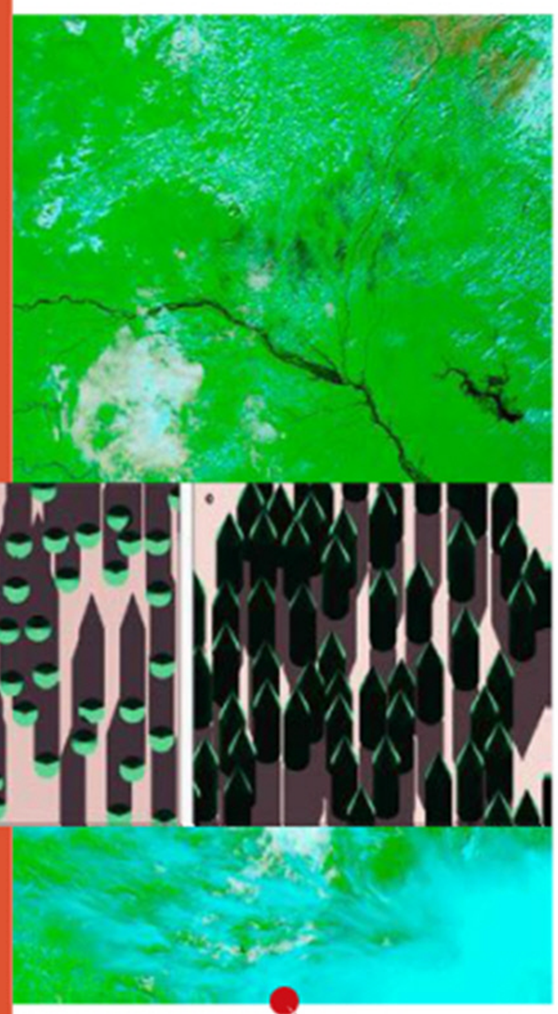
COURTESY OF SCIENCE/AAAS

Muscle en fil de pêche

Le fil de pêche a de la ressource. Une équipe internationale menée par l'université du Texas, à Dallas, vient de l'utiliser pour fabriquer un muscle artificiel 100 fois plus puissant qu'un muscle humain. Les chercheurs ont entortillé un fil de nylon bon marché, recouvert d'un film d'argent conducteur, jusqu'à ce qu'il forme une sorte de ressort. Exposé à des variations de température, le fil obtenu se contracte et se rétracte. L'équipe imagine en équiper des tissus qui réagiraient à la chaleur, voire des robots.

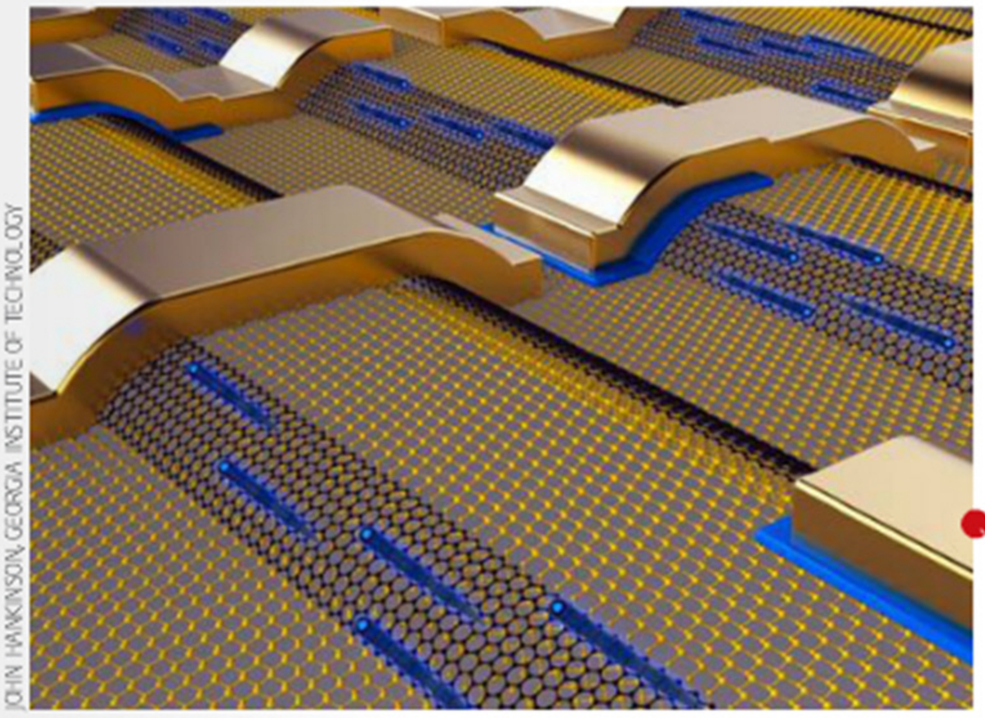
LA FORÊT ÉTAIT TROP VERTE

Il faut se méfier des images ! Ainsi, des scientifiques de la Nasa viennent d'expliquer pourquoi, sur les images réalisées par les satellites Terra et Aqua, la forêt amazonienne apparaît plus verte pendant la saison sèche que pendant la saison des pluies. La question taraudait les scientifiques depuis des études publiées en 2006 et 2007 à partir des données récoltées par ces satellites. L'une d'elles avait même montré que, durant la sévère sécheresse de 2005, la canopée avait verdoyé comme un charme. Or il s'agit d'un artefact technique. En s'appuyant sur une reconstruction numérique de la forêt (trois images ci-contre), les chercheurs ont montré que le verdissement est dû à la position du Soleil par rapport au satellite. Pendant la saison sèche, de juin à octobre, il se trouve derrière l'engin et illumine la forêt, tandis que lorsque l'astre fait face au détecteur, la forêt semble plus sombre, comme une photographie prise à contre-jour. Une fois cet effet corrigé, la verdeur de la forêt amazonienne est constante.



IMAGES PROVIDED BY SYLVAIN LEBLANC, NATURAL RESOURCES CANADA. NASA IMAGES COURTESY MODIS TEAM

Une reconstitution numérique de la forêt et de son ensoleillement a permis de comprendre pourquoi les satellites faisaient des images si vertes de l'Amazonie.



JOHN HANKINSON, GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

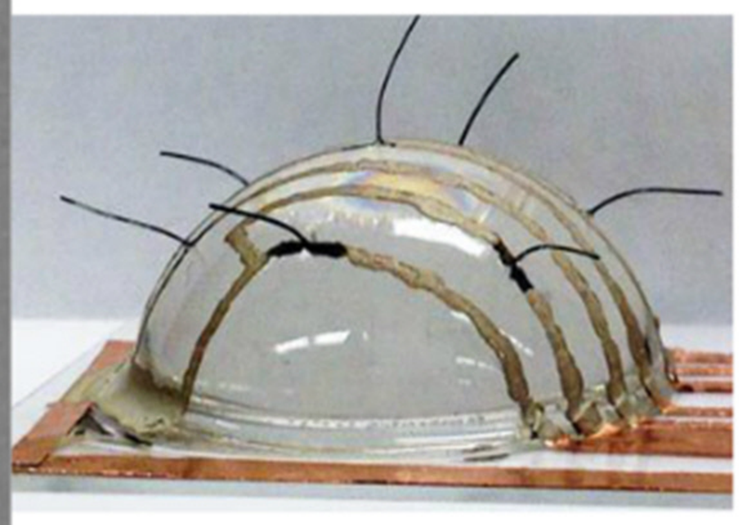
Les électrons (en bleu) circulent plus vite dans les nanorubans de graphène.

Dix fois plus rapide que prévu

Record battu ! Dans le graphène, ce matériau composé d'une seule couche d'atomes de carbone (lire p. 72), les électrons parcourent une distance donnée 100 fois plus vite que dans le silicium. Or une équipe menée par l'université Georgia Tech, aux États-Unis, avec l'institut Néel, à Grenoble, et l'université Leibniz, en Allemagne, vient de faire mieux. En fabriquant des rubans de graphène de moins de 40 nanomètres de large, les physiciens ont obtenu des électrons 10 fois plus mobiles encore, à température ambiante. Un exploit à confirmer...

Polymère antibruit

Dompter les ondes sonores dans la matière ? Selon une équipe du MIT, aux États-Unis, c'est possible en créant des ridules microscopiques dans des polymères fabriqués couches par couches. Selon le dessin de ces structures, certaines fréquences peuvent être privilégiées ou, au contraire, supprimées. Ces propriétés sont réversibles, en étirant le matériau.



K. TAKEI, ZHIBIN YU AND A. JAVEY/UNIV. OF CALIFORNIA, BERKELEY

Moustache électronique

Ces poils artificiels ont pu détecter une pression aussi petite que celle exercée par une mouche sur un timbre, soit 1 pascal. Pour les créer, les scientifiques de l'université de Californie ont pris pour modèle les moustaches de certains mammifères, véritables organes tactiles. Ils ont recouvert des fibres élastiques de nanotubes de carbone et de particules d'argent. Les premiers rendent le matériau conducteur, les secondes sont sensibles à la pression : lorsque les fibres se plient, leur résistance change. À quand un robot à moustache ?

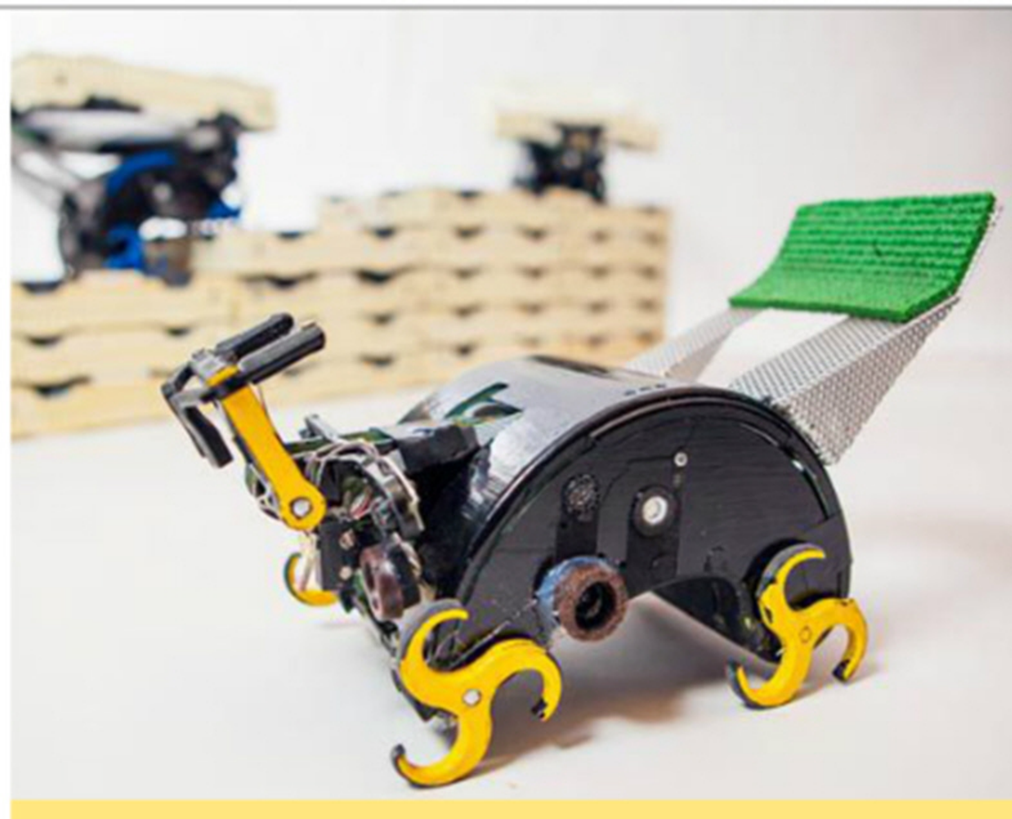


IMAGE COURTESY OF SELF-ORGANIZING SYSTEMS RESEARCH LAB, HARVARD UNIVERSITY

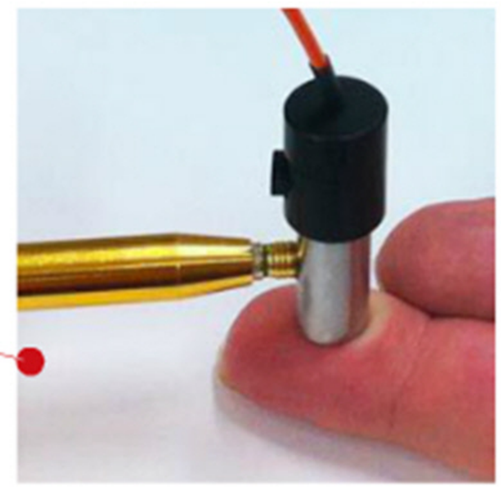
TERMITES BIONIQUES

Ces petits robots ont développé un comportement collectif intelligent, allant jusqu'à construire des édifices alors qu'ils n'avaient pas été programmés pour cela. Au contraire, chacun ne pouvait réaliser que des tâches simples et peu nombreuses. Pour arriver à ce résultat, une équipe de roboticiens, informaticiens et biologistes de l'université Harvard, aux États-Unis, s'est inspirée des termites. Certaines termitières peuvent en effet atteindre plusieurs mètres de haut et former des structures d'une complexité à faire pâlir les meilleurs architectes. Pourtant ces insectes sociaux ne suivent aucun plan, ne communiquent pas directement entre eux et ne reçoivent aucune instruction de la reine pour les construire.

En réalité, chaque insecte utilise des informations locales, comme la configuration d'un tas de boue, pour savoir ce qu'il doit faire. L'équipe a transposé ce mode de coordination indirecte à un groupe de trois robots indépendants, munis de capteurs mécaniques et infrarouges très simples. Ces derniers étaient également capables de porter des tuiles en plastique, de les déplacer et de les empiler les unes sur les autres le long d'une grille. Les chercheurs ont programmé le comportement de ces machines à l'aide d'algorithmes – des suites d'instruction en langage informatique – donnant à chacune les mêmes règles simples en fonction de l'état de leur environnement local, par exemple les moments où il faut déposer une tuile ou grimper sur l'une d'elle.

Diagnostic express du paludisme

Des chercheurs de l'université de Rice, au Texas, ont développé une nouvelle méthode pour détecter rapidement le paludisme : une impulsion laser, brève et inoffensive, à travers la peau. Elle entraîne la formation de minuscules bulles de vapeur dans le sang, autour des molécules d'hémozoïne produites par le parasite responsable de l'infection. Lorsqu'elles éclatent, ces bulles émettent une signature particulière qui permet de détecter la maladie avec une grande fiabilité. Tests prévus dès 2014.

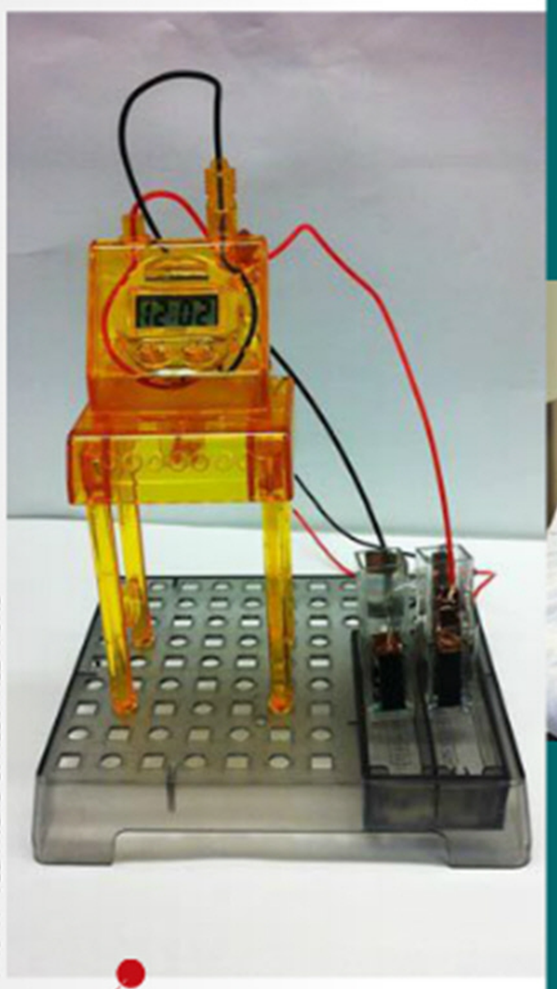


E. LUKIANOVA-HLEB/RICE UNIVERSITY

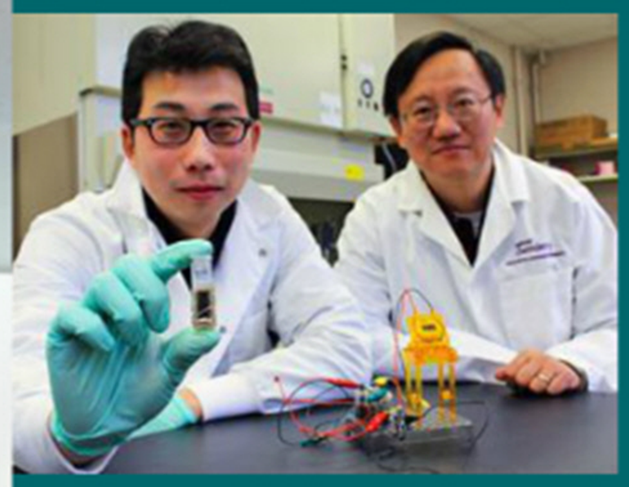
Une simple impulsion laser pourrait suffire à repérer le paludisme.

ILS FABRIQUENT UNE BIOPILE EN SUCRE

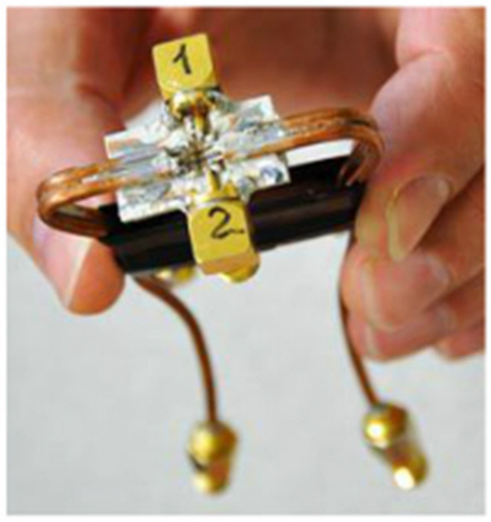
Vanté dans les barres chocolatées pour «recharger nos batteries», le sucre pourrait bientôt servir à recharger celles de nos téléphones. Le glucose est en effet l'ingrédient principal d'une pile développée par des scientifiques de l'université américaine Virginia Tech. Zhiguang Zhu (à gauche) et Percival Zhang ont utilisé une solution de maltodextrine, molécule dérivée de l'amidon qui contient divers sucres dont du glucose. Cette molécule est peu à peu dégradée dans la pile par un mélange de 13 enzymes, libérant des électrons et des protons. Les électrons sont captés par l'anode et alimentent un circuit électrique. Les protons se dirigent vers la cathode où ils réagissent avec l'oxygène de l'air pour former de l'eau. L'idée des piles biodégradables n'est pas nouvelle, mais ce prototype pourrait stocker 10 fois plus d'énergie que des batteries standards au lithium.



VIRGINIA TECH NEWS & MEDIA RELATIONS



En sucre mais puissant, ce prototype peut stocker 10 fois plus d'énergie que des batteries au lithium.



THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA, RIVERSIDE

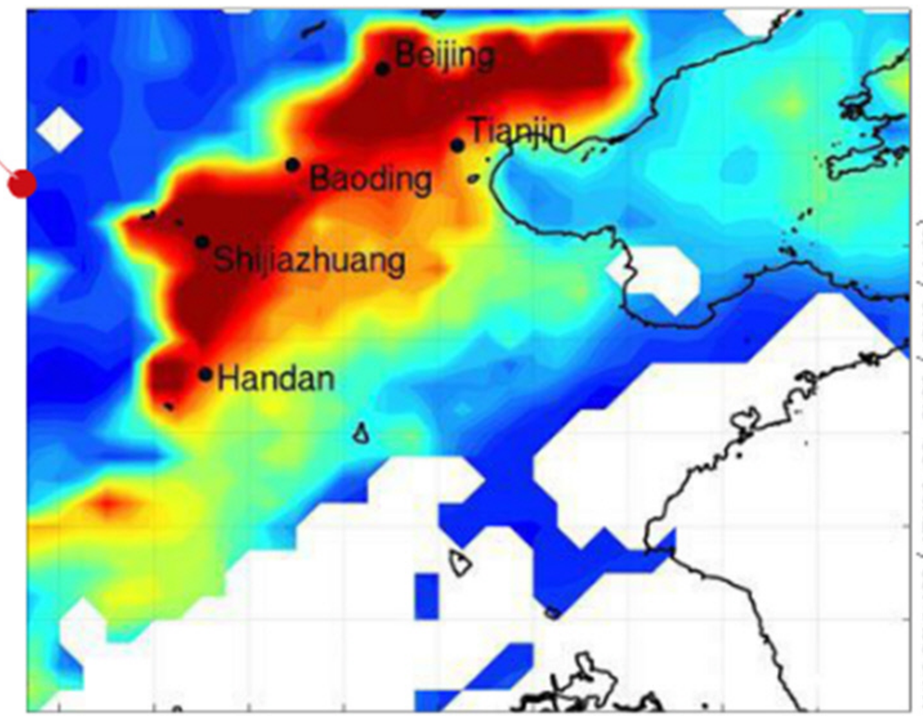
Disque dur d'un nouveau type

Voici le premier prototype de disque dur mêlant la technologie traditionnelle de lecture sur bande magnétique et la spintronique. Il est composé de circuits magnétiques et de deux micro-aimants. Parcouru d'ondes magnétiques qui interagissent avec les aimants, ce prototype a pu stocker deux bits d'information correspondant aux deux positions possibles des micro-aimants. Cette technologie est exploitable à l'échelle du nanomètre. De quoi miniaturiser les disques durs de demain.

La pollution vue de l'Espace

Pour la première fois, la pollution atmosphérique au-dessus de la Chine a été détectée depuis l'Espace. Jusqu'alors, la sensibilité de l'observation satellitaire n'allait pas en deçà de 3 kilomètres d'altitude, mais une étude franco-belge a montré qu'un satellite infrarouge pouvait déterminer la composition de l'air à proximité du sol. Cette avancée majeure devrait permettre de mieux prévoir les panaches de polluants d'origine humaine, responsables, chaque année, de plus 300 000 décès prématurés en Chine.

Le satellite mesure les concentrations de polluants au sol, des plus faibles (bleu) aux plus élevées (rouge).



ANNE BOYNARD (LATMOS-IPSL, CNRS / UVSQ / UPMC / SMO "ISLA-HPSL")

PAGES RÉALISÉES PAR **Jacques Abadie, Rafaële Brillaud, Gautier Cariou, Sophie Coisne et Sylvain Guilbaud**

4QÀ

« L'ORDINATEUR NE S'OPPOSE PAS AUX AUTRES SUPPORTS »

Fondé en 2000 par d'anciens salariés d'Ubisoft, le studio français Cyanide, dirigé par **Patrick Pligersdorffer,** conçoit des simulations sportives, des jeux de rôle et de stratégie. Et vient de tenter un financement alternatif...

Patrick Pligersdorffer développe actuellement Blood Bowl 2, simulation de football américain dans un univers heroic fantasy. CONSTANTIN MASHINSKIY; GAMES WORKSHOP LTD 2013 ALL RIGHTS RESERVED

Les médias ont longtemps évoqué la French Touch. La créativité des Français est-elle encore reconnue aujourd'hui?

La French Touch est un concept franco-français ! Ne croyez pas que les étrangers regardent nos jeux avec plus d'attention parce qu'ils sont français. En revanche, ils reconnaissent unanimement les talents de nos programmeurs et de nos graphistes. La preuve : les studios étrangers installés au Canada [NDLR : car la fiscalité y est avantageuse pour les concepteurs de jeux vidéos] font appel à un grand nombre de Français.

Les ventes de PC ne cessent de baisser, comment envisagez-vous l'avenir du jeu vidéo?

Les PC se vendent moins, c'est vrai, mais les ventes de jeux pour PC ne baissent pas, malgré le développement des tablettes. Mais il ne faut pas opposer les supports. Chacun a ses avantages et ses limites. Par exemple, la tablette ne se prête pas aux longues sessions de jeu, parce qu'il faut la tenir. Elle convient, en revanche, à merveille pour les jeux occasionnels tels que Candy Crush. Le PC, lui, est inégalable pour les jeux qui font appel à de nombreuses commandes, tels les jeux de stratégie. Quant à la console, elle remporte la palme de la convivialité.

Vous avez tenté de financer un projet de jeu vidéo via un système de financement participatif. Pourquoi?

Nous voulions développer un jeu d'équipes de rugby. Or ce genre de projet est difficile à financer, car il s'adresse à un public restreint. Nous avons donc tenté de le promouvoir via un système de financement participatif dédié aux projets culturels, la plate-forme Kickstarter. Malheureusement sans succès, car le public de ce site est plus attiré par les jeux de rôle, de stratégie ou d'aventure que par les jeux de sport.
Pour cette raison, je pense que le jeu que nous développons actuellement, Blood Bowl 2, aurait cartonné sur Kickstarter. Mais Games Workshop, qui détient la licence, a refusé ce mode de financement, craignant que cela ne nuise à son image de marque. Quoi qu'il en soit, je n'hésiterai pas à retenter l'expérience.

SÉLECTION

Wolfenstein tue les nazis sur PC et consoles

Les vétérans ont la vie dure ! Vingt-deux ans après ses débuts, ce jeu de tir à la première personne (FPS) s'offre une cure de jouvence sur PC et consoles.
Si le soldat BJ Blazkowicz lutte toujours contre les hordes nazies, l'action se déroule cette fois dans les années 1960. Les Allemands ont remporté la guerre grâce à une mystérieuse technologie. Pour s'en débarrasser, le héros doit détruire tout leur arsenal : robots géants, supersoldats et autres monstres cybernétiques.
Sortie en juin 2014.

Défouloir garanti avec Wolfenstein : The New Order.
MACHINEGAMES/BETHESDA SOFTWORKS

Avez-vous essayé l'Oculus Rift, qu'en avez-vous pensé ?

Je ne suis pas fan. Même si de nombreuses personnes tolèrent bien ce périphérique, ce n'est pas mon cas. J'ai été pris de nausée après l'avoir testé sur un jeu d'action. Ce qui me gêne le plus, c'est le fait d'être isolé du monde extérieur, on se sent vraiment seul. À mon avis, l'Oculus Rift va séduire les passionnés, mais je ne pense pas qu'il remportera un franc succès auprès du grand public. ❊

PROPOS RECUEILLIS PAR
Philippe Fontaine

2,7

MILLIARDS D'EUROS, c'est l'estimation du chiffre d'affaires généré en France par le jeu vidéo en 2013, d'après le Syndicat des éditeurs de logiciels de loisirs, soit une augmentation de 4 % par rapport à l'année précédente. 90 % de ces revenus proviennent des ventes de jeux sur PC et consoles.

Du nouveau dans Tropico !

Ce cinquième épisode du jeu de gestion et de stratégie teinté d'humour noir, voit l'apparition du mode multijoueur. Jusqu'à 4 joueurs pourront s'affronter, coopérer pour prendre le contrôle, ou contribuer au développement de la république bananière. Lancement prévu cet été, sur PC, Mac et consoles.

Sniper Elite à tire-d'arme

**Les Américains envoient leur meilleur tireur combattre l'Afrika Korps et éliminer les savants qui élaborent en secret une superarme.
Le « ralenti caméra balle », qui a fait le succès de ce jeu de tir, a été amélioré, offrant aux amateurs du genre une vision hyperréaliste d'un projectile pénétrant les chairs. En juin sur PC et consoles.**

FROGWARES

Dans la peau de Sherlock Holmes

Le célèbre détective anglais revient pour une nouvelle aventure qui va mettre vos neurones en ébullition. Cette fois, ce sont six grandes affaires, allant du meurtre sordide au cambriolage spectaculaire qu'il va falloir résoudre. Au contraire de la plupart des jeux d'enquête qui suivent une progression linéaire, Sherlock Holmes : Crimes & Punishments offre une liberté d'action, de choix et de conclusion totale. Et pour corser encore la difficulté, vous ne disposez d'aucune aide durant les enquêtes. Seule une analyse précise de tous les indices (parfois à peine décelables), couplée à une conduite rigoureuse des interrogatoires vous permettra de démasquer le coupable parmi les nombreux suspects. Avec sans cesse la crainte de commettre une grave erreur judiciaire, préjudiciable à votre réputation. Sortie cet été sur PC et consoles.

L'OCULUS RIFT : IMMERSION DANS LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Ce casque permet d'afficher les images du jeu à 360°. Lorsque le joueur tourne la tête, le paysage bouge avec lui.

Le casque est recouvert de diodes électroluminescences (LED).

Les câbles permettent au casque de recevoir les informations de l'ordinateur

La caméra enregistre la position des LED et la transmet à l'ordinateur.

Un écran Oled de 7 pouces, à l'intérieur du casque, affiche une image pour chaque œil, légèrement décalée. Des lentilles face aux yeux augmentent le champ visuel et donnent au cerveau l'illusion que la profondeur de champ s'étend à l'infini.

L'ordinateur calcule en temps réel la position des LED dans l'espace en répertoriant celles face à la caméra et celles cachées puis en les comparant à une base de référence. Il génère alors des images du jeu correspondant à l'angle de vue du joueur, au rythme de 60 images par seconde.

INFOGRAPHIE SANDRINE FELLAY

ITW

CARLO RATTI

Carlo Ratti dirige le Senseable City Lab au MIT. Architecte et ingénieur de formation, cet Italien aime à barder les villes de capteurs pour les rendre hypersensibles aux besoins humains. OSKAR SCHMIDT

«LA VILLE VOUS PARLE, ALORS, RÉPONDEZ-LUI!»

Lorsque l'on évoque les villes du futur, on est habitué à l'expression «smart cities». Vous préférez les appeler «senseable cities». Est-ce vraiment différent?

Le terme «senseable» a deux significations: «capable de sentir» et «sensible». Dans notre labo, au MIT, à Cambridge, aux États-Unis, nous préférons utiliser ce vocable parce que «senseable» est beaucoup plus humain que «smart». C'est, au fond, le dénominateur commun de tous nos projets. Il s'agit de se centrer sur les humains plutôt que sur la technologie. Notre vision est celle de villes à créer où les habitants seraient les agents du changement. Une sorte de système «cyber-physique» ou les bits informatiques et les atomes de matière interagiraient. Deux images pour le comprendre: en 2005, le pape Benoît XVI fait face à la foule qui le salue, joyeuses mains levées. En 2013, le pape François a devant lui un mur scintillant de téléphones portables tenus à bout de bras. Le monde physique se fond dans un creuset digital.

La ville et ses habitants ont donc vocation à interagir en permanence. Quelle est l'idée phare derrière ces «senseable cities»?

Je me réfère à ce que l'on appelle l'intelligence ambiante: la dissémination de systèmes électroniques dans nos environnements qui permettent aux capteurs de sentir et de répondre aux besoins humains. Ils se diffusent dans les moindres recoins des espaces urbains, révélant leurs dimensions visibles et invisibles. Nous apprenons des choses nouvelles sur nos villes et, en retour, elles nous connaissent de mieux en mieux.

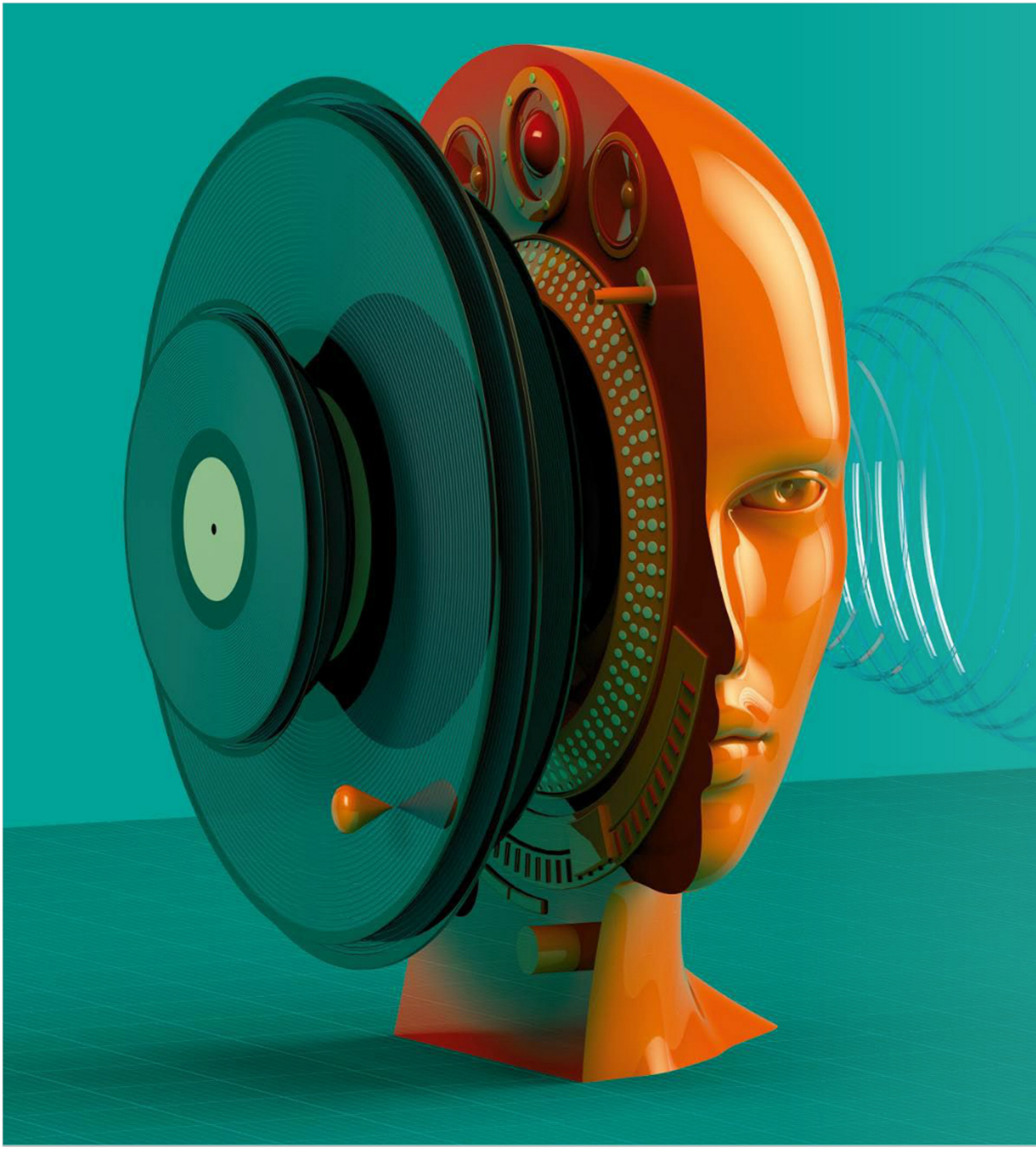
Peut-on donner des exemples?

Enfourchez votre vélo équipé de traceurs à Copenhague et vous contribuerez à établir une carte dynamique de l'exposition à la pollution et de la qualité de l'air. Acceptez de géolocaliser vos ordures, à Seattle, et l'on pourra améliorer la gestion des déchets en pointant les trajets inutiles. Devenir ainsi un capteur vivant a une dimension civique.

Mais n'est-ce pas un projet risqué? Comment être sûr que les humains garderont le contrôle de ces villes bardées de technologies?

Vieille rengaine! Je n'y adhère pas. L'humain, la technologie et l'environnement coévoluent. Une machine et un humain seront toujours plus forts que la seule machine. ※

PROPOS RECUEILLIS PAR
Aline Richard



Les nouvelles dimensions du son

Après le cinéma et la télévision 3D, c'est enfin au tour du son de prendre du relief. Bientôt, votre casque restituera la sensation physique d'être au cœur d'un concert, grâce au développement de décodeurs hors du commun. Quant aux sites de téléchargement, ils procureront de la musique sous un format plus performant que le MP3. Dans ces domaines, les Français sont en pointe. Nos oreilles leur disent merci.

LE SON COMME VOUS NE L'AVEZ JAMAIS ENTENDU

La stéréo est à jeter aux oubliettes ! Demain, c'est immergé dans une sphère sonore en 3D que vous écouterez la musique et les films. Rencontre avec les pionniers français du son spatialisé.

PAR
Christophe Blanc
ILLUSTRATION
Plasticbionic

Quel type d'auditeur êtes-vous ? Un audiophile prêt à dépenser toutes ses économies dans un nouvel élément de chaîne hi-fi ? Un fan de cinéma ou de jeux vidéo équipé d'un kit d'enceintes home cinéma 5.1 ? Ou un amateur de musique qui l'écoute au casque, en activant l'effet « surround » de son smartphone pour « spatialiser » le son ? Dans tous les cas, vous n'avez encore rien entendu. Car ce ne sont là que les balbutiements : de nouvelles technologies de son 3D au réalisme incomparable sont sur le point d'envahir les CD et le streaming, la télévision et la radio, les salles obscures et de spectacles. Résultats de recherches menées dans de nombreux laboratoires à travers le monde, et notamment en France, elles vont transformer radicalement notre façon d'écouter.

1. Le cerveau vit la grande illusion sonore

Contrairement au champ de vision, le champ de l'audition n'est pas limité en largeur. Dans la nature nous sommes entourés d'une sphère sonore : nous captons les sons autour de nous, à 360 °, y compris au-dessus et en dessous. Le but du son 3D est de reproduire cette sphère. Ou, du moins, de faire croire à notre cerveau que nous en sommes enveloppés.

On distingue aujourd'hui trois méthodes de diffusion de son spatialisé, qui reposent chacune sur des principes mathématiques, physiques et morphologiques différents. La première existe depuis des décennies : c'est la stéréophonie. Elle est fondée sur une illusion : en diffusant sur deux enceintes une même source sonore mixée en stéréo – c'est-à-dire sur deux canaux séparés – et en introduisant un léger retard et/ou une différence de volume entre la gauche et la droite, on fait croire au cerveau que cette source provient d'un point situé entre ces deux enceintes. Ce système peut être amélioré

Matthew Bellamy, du groupe Muse, vous fait face. Grâce au son 3D, vous entendrez sa guitare venir à vous. Comme si vous étiez sur la scène. THOMAS SAMSON/AFP PHOTO

Gravity est salué comme une expérience sonore immersive, notamment quand on l'écoute dans une salle Dolby Atmos.
WARNER BROS. ENTERTAINMENT

en augmentant le nombre de canaux et de haut-parleurs. Ainsi, avec un système 5.1 à 6 enceintes, on entend des sources situées à l'arrière et sur les côtés. Pour en accroître encore le nombre, il suffit de multiplier les canaux sonores, comme avec le 7.1, le 11.1 du format Auro-3D, le 12.4 du cinéma Omnimax et même le format 22.2 à 22 canaux, sur lequel travaille la télévision publique japonaise.

Pour donner l'illusion que les sons proviennent de directions différentes, on les mixe individuellement : les disques et les bandes-son du cinéma et de la télévision sont produits sur des systèmes multipistes qui enregistrent chaque instrument, chaque voix et chaque bruitage sur une piste séparée. Dès lors, il est possible, avec une console de mixage, de modifier le volume et les fréquences de chaque source sonore, ou de lui ajouter des effets sonores. Et cela jusqu'au moment du mixage final, qui consiste à mélanger toutes les pistes et à figer leur position dans l'espace (au milieu, ou à 30° à gauche, ou à 50° à droite, par exemple).

Toutefois, avec la stéréo et les systèmes 5.1, le champ d'audition reste limité à un plan (pas de sources en hauteur) et n'est audible que dans une zone de taille réduite appelée « sweet spot ». Dès que l'on s'éloigne de cette dernière, l'effet de spatialisation disparaît. Un seul procédé de restitution multicanale, le Dolby Atmos du fabricant américain Dolby, permet d'aller plus loin. À l'heure actuelle, environ 70 salles de cinéma, dont 6 en France, en sont équipées (lire p. 64). Dans la salle, plusieurs dizaines d'enceintes placées tout autour de l'auditoire, au plafond et derrière l'écran donnent l'illusion que les sons et la musique proviennent de toutes les directions. Cela crée un paysage sonore d'une profondeur sans limites, les voix se déplacent en même temps que les personnages sur l'écran et les bruitages semblent animés d'une vie propre.

La guitare électrique passe de gauche à droite et s'avance vers vous

Pour parvenir à ce résultat, le Dolby Atmos met en œuvre ce qu'on appelle le « mixage objet » : plutôt que de figer la position spatiale de chaque source sonore individuelle dans un mixage définitif (par exemple, la guitare électrique à droite et la basse à gauche), on conserve cette source sous la forme d'un objet numérique indépendant, affublé de ses propres paramètres de localisation. On peut ainsi la repositionner dans l'espace en direct, à l'aide d'un ordinateur, au moment de la diffusion, et donner l'impression que la guitare électrique passe de droite à gauche ou s'avance vers les spectateurs.

Mettant en jeu plusieurs dizaines d'enceintes, l'Atmos est, pour l'instant, un dispositif très coûteux, inaccessible aux particuliers. Toutefois, selon plusieurs chercheurs, Dolby développerait actuellement une version light à destination du grand public : peut-être verra-t-on un jour le logo « Dolby Atmos » imprimé sur les pochettes des disques Blu-ray, à côté – ou à la place – des mentions « Dolby Digital » et « DTS » ?

2. L'hologramme fait swinguer la musique

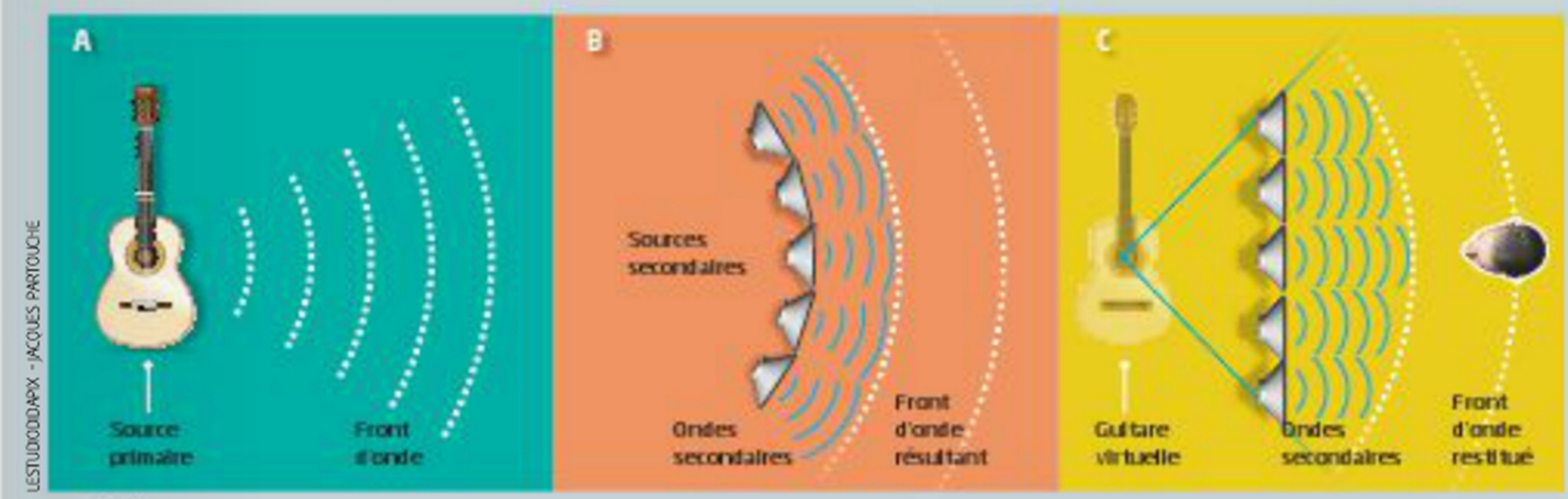
La seconde famille de technologies de son 3D est appelée « holophonie », par analogie avec les hologrammes visuels. Plutôt que de tenter d'abuser le cerveau, la synthèse de champs acoustiques ou WFS (pour « Wave Field Synthesis ») reconstruit physiquement la sphère sonore, telle qu'elle a été enregistrée. Selon Olivier Warusfel, chercheur à l'Institut de recherche et coordination acoustique/musique (Ircam), *« la synthèse de champs acoustiques recrée des sources sonores à l'intérieur de la salle : vous avez physiquement l'impression qu'elles sont à côté de vous, alors qu'il n'y a pas de haut-parleur à cet endroit-là »*. C'est aussi la seule technologie permettant à un auditoire de plusieurs centaines de personnes d'entendre strictement le même son spatialisé dans une zone étendue, et cela même lorsque ces personnes se déplacent. L'installation WFS la plus complète se trouve à l'Ircam, à Paris, au pied du centre Pompidou. C'est dans cet organisme public de recherche hors norme, sorte de ruche peuplée de chercheurs et d'étudiants passionnés, que s'inventent les instruments, les musiques et les technologies audio de demain. Depuis 2011, un dispositif holophonique WFS unique au monde par ses dimensions et son degré de précision y est installé.

Il est composé de 264 haut-parleurs, disposés à intervalles réguliers tout autour du public et alimentés par des batteries d'amplificateurs, d'ordinateurs et de processeurs dits « DSP », spécialisés dans le traitement en temps réel de signaux audionumériques. D'autre part, un dôme de 75 haut-parleurs fonctionnant en mode Ambisonique ajoute une dimension verticale au son, par l'apport de sources sonores situées en hauteur. Au total, le dispositif nécessite 339 haut-parleurs afin de reconstituer un hémisphère sonore complet.

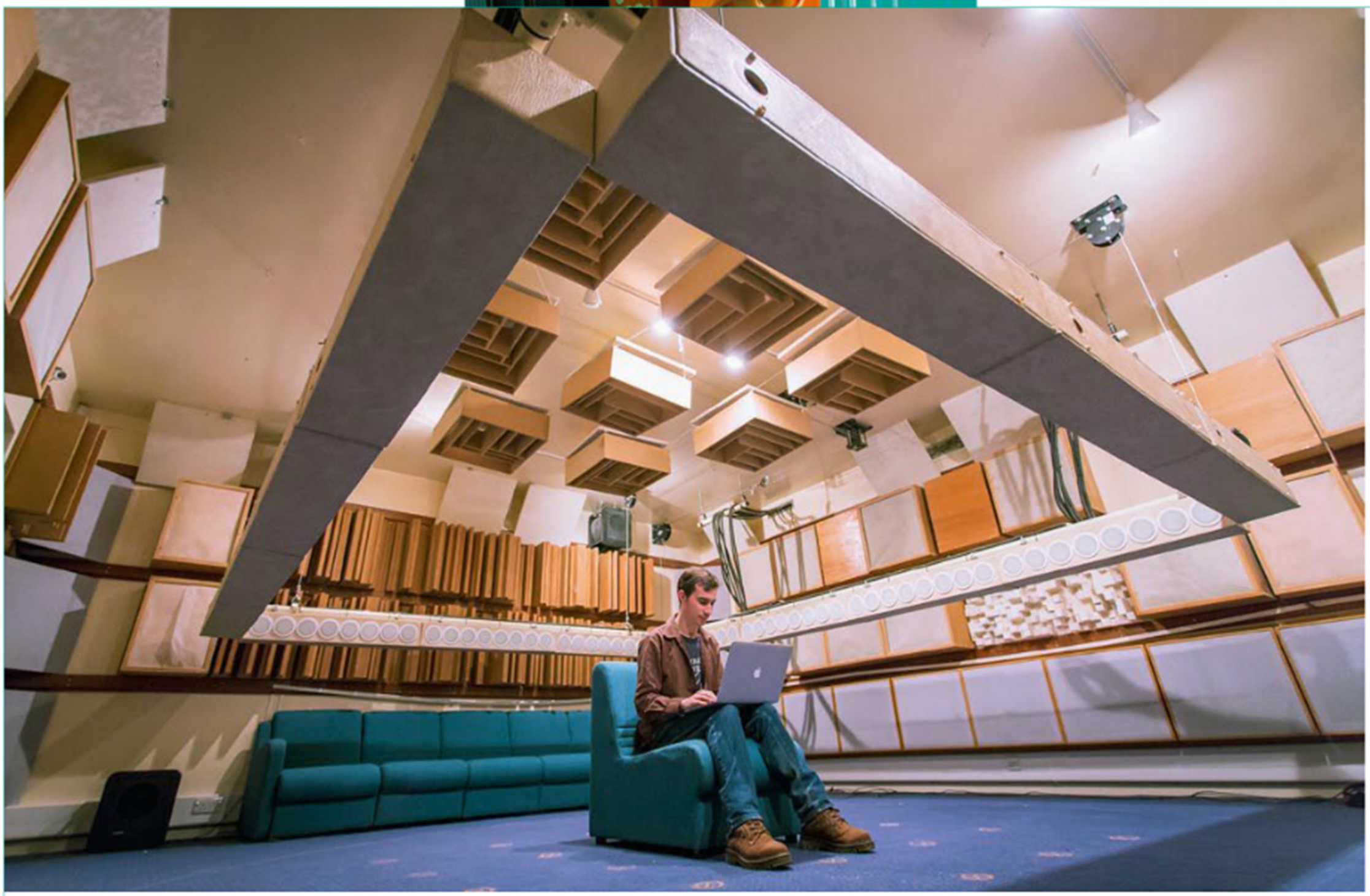
La synthèse de champs acoustiques s'appuie sur la théorie ondulatoire de Huygens, mathématicien et physicien néerlandais contem-

264

HAUT-PARLEURS composent un système d'écoute unique au monde : le dispositif holophonique WFS de l'Ircam, à Paris.



CRÉER UNE GUITARE VIRTUELLE. A. Le son d'une guitare se propage dans toutes les directions à la même vitesse. À un instant T, les points de l'onde situés à égale distance de cette source primaire forment un front d'onde. B. Chaque point peut être considéré comme une source de son secondaire qui réémet une ondelette identique. Le front d'onde résultant est le même que celui de la source primaire. C. Pour créer une guitare virtuelle, des haut-parleurs accolés émettent un même signal en décalé. Le front d'onde semble provenir d'une guitare située derrière les enceintes.



Avec sa centaine de haut-parleurs, le système WFS de l'université de Salford, à Manchester, a permis de reconstituer en 3D la façon dont le son et les voix se propagent dans le site archéologique de Stonhenge.
GREG HARDING/UNIVERSITY OF SALFORD

porain de Newton, et sur des algorithmes mathématiques mis au point à la fin des années 1980 à l'université de Delft, aux Pays-Bas. Le principe ? Lorsqu'une source primaire – telle qu'un instrument de musique ou des cordes vocales – émet un son dans un milieu homogène tel que l'air, celui-ci se propage dans toutes les directions à la même vitesse (lire « Créer une guitare virtuelle », p.51). À un instant T, tous les points de l'onde situés à égale distance de la source ont les mêmes propriétés et forment ce qu'on appelle un « front d'onde sphérique ». La théorie démontre que chacun de ces points peut être considéré comme une source secondaire, qui émet à son tour une onde sphérique. La combinaison de ces ondes secondaires reconstitue en aval un front identique à celui de l'onde primaire.

Pour recréer une source primaire virtuelle, la WFS utilise un réseau de haut-parleurs proches les uns des autres comme sources secondaires. Concrètement, chaque haut-parleur émet le même signal, mais avec une différence de volume et un léger retard d'un haut-parleur à l'autre. De cette manière, on recrée un front d'onde réaliste et une source virtuelle que l'on peut « placer » n'importe où à l'intérieur ou à l'extérieur de la zone de diffusion. Ainsi, selon les cas, l'auditoire la localisera à plusieurs mètres de distance ou juste à côté de lui. Bien entendu, pour reconstituer une scène sonore complète, il faut multiplier les sources, et donc le nombre de canaux audio dans le signal émis, ainsi que le nombre de haut-parleurs.

Vous sursautez en entendant un son là où il n'y a pas de haut-parleur

Étienne Corteel a travaillé à l'Ircam avant de rejoindre l'entreprise suisse Sonic Emotion, qui fabrique des systèmes WFS. Il nous a reçus dans l'auditorium parisien de la société, équipé de portiques sur lesquels sont accrochés 32 haut-parleurs, autour de nous et au-dessus de nos têtes : *« Un système comme celui de l'Ircam,*

Historia & Quelle Histoire EDITIONS

PRÉSENTENT

ULYSSE

APPLICATION DISPONIBLE LE 10 AVRIL

Disponible sur App Store

DISPONIBLE SUR Google play

Disponible sur amazon

3,59 €

L'ODYSSÉE D'ULYSSE
UNE APPLICATION SANS ÉQUIVALENT

L'Odyssée d'Ulysse racontée aux enfants... Une histoire fascinante pour découvrir la fabuleuse épopée du plus célèbre des héros grecs. De la petite île d'Ithaque à la grotte du Cyclope en passant par la guerre de Troie, le beau voyage d'Ulysse ouvre un univers magique idéal pour aller à la rencontre des dieux, des monstres et des héros mythologiques !

15 TABLEAUX ANIMÉS • LA CARTE DE L'ODYSSÉE • DES JEUX • LES PRINCIPAUX DIEUX

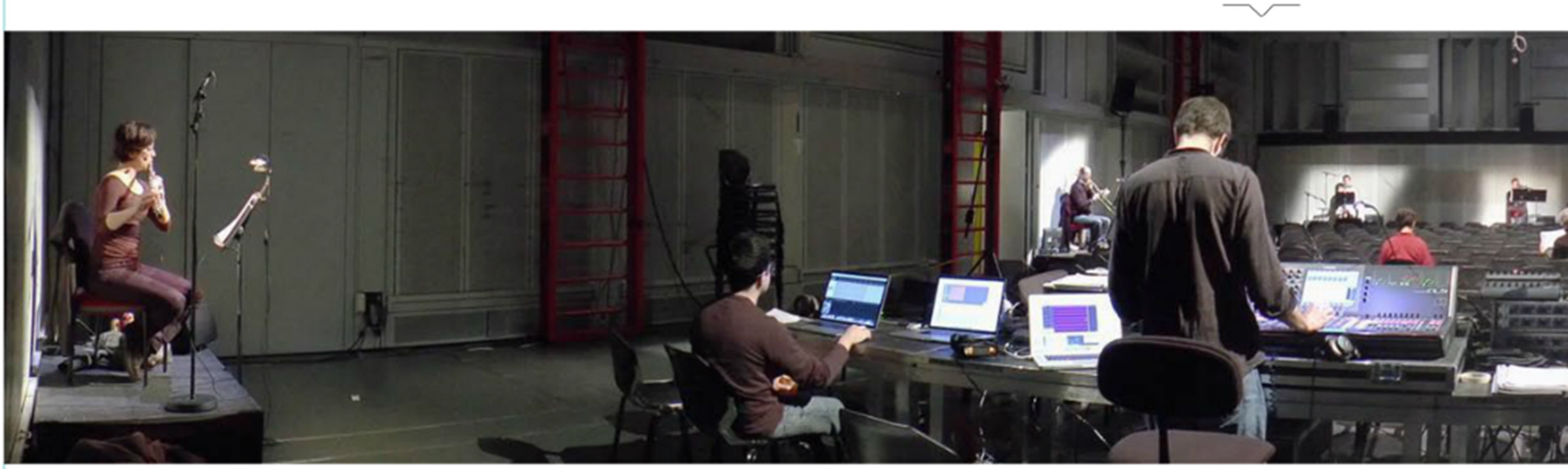
composé de plusieurs centaines de haut-parleurs, est ingérable en pratique. C'est lorsque nous avons proposé des solutions qui fonctionnent avec "seulement" quelques dizaines de haut-parleurs que la WFS a commencé à se développer dans les salles de concerts et les boîtes de nuit.»

La démonstration commence par des sons qui se rapprochent ou s'éloignent aléatoirement, puis par celui d'un balancier géant qui oscille, semblant nous traverser. Ce sont ensuite les bruits des caisses enregistreuses de la chanson *Money* de Pink Floyd qui résonnent aux quatre coins de la pièce. On sursaute en entendant des sources sonores tout près de nous, là où il n'y a pas de haut-parleur: Olivier Warusfel avait raison. Mais c'est lors de la diffusion d'œuvres musicales enregistrées en multicanal que la WFS révèle tout son potentiel, car il est alors possible de positionner chaque instrument individuellement dans l'espace. Lorsque Étienne Corteel mixe un morceau de jazz en direct, il fait traverser la pièce au trompettiste en déplaçant une icône sur l'écran. Et lorsque résonne un mixage trépidant d'une chanson de Beyonce, au cours duquel les musiciens et la chanteuse semblent exécuter une chorégraphie autour de nous, on comprend l'intérêt du procédé pour les clubs et boîtes de nuit: c'est très réaliste et vivant et ça donne immédiatement envie de danser. De quoi garantir un bel avenir à la WFS.

3. Le casque diffuse un concert en 3D

La dernière technologie de son 3D concerne l'écoute au casque. Selon une récente étude de l'institut Médiamétrie, 63% des possesseurs d'iPad écoutent de la musique au casque dans les transports en commun. Plus généralement, l'ordinateur, le smartphone et la tablette sont devenus nos principales sources de musique. Mais la spatialisation au casque reste très limitée: on a surtout l'impression que le son provient du milieu de notre crâne. Il faut dire qu'il n'y a rien de moins naturel que l'écoute au casque. Dans la réalité, les sources sonores ne sont pas collées à nos oreilles: elles en sont éloignées au minimum de quelques centimètres, et le plus souvent de quelques mètres ou dizaines de mètres.

Le fait de diviser une scène sonore en deux canaux, diffusés directement et isolément sur les deux tympans, est incompatible avec la reproduction de la sphère sonore naturelle. L'enregistrement binaural tente de résoudre cette équation en reconstituant dans le casque le trajet naturel que parcourent les ondes sonores jusqu'à nos tympans, y compris les réflexions et déviations de ces ondes sur les reliefs de notre visage et les pavillons de nos oreilles. Car c'est grâce à ces inflexions que notre cerveau est capable de



Jugez par vous-même! L'Ircam réalise des enregistrements binauraux. À écouter sur le site NouvOson.
TOTAVISION

déterminer la provenance des sons. Pour réaliser un tel enregistrement, on diffuse une musique ou des bruitages autour d'une personne. On enregistre alors le tout grâce à deux microphones placés à l'entrée de ses conduits auditifs, de façon à capter très exactement ce que ses oreilles perçoivent, informations de localisation comprises. Puis on encode le signal enregistré à l'aide d'algorithmes binauraux spécifiques.

Vous entendez les ciseaux parcourir votre crâne, comme chez le coiffeur

Il n'y a plus alors qu'à diffuser l'enregistrement réalisé dans un casque classique. Vous pouvez juger du résultat de cette méthode de base avec un simple casque, en vous connectant sur le site NouvOson de Radio France (lire p.64). Ce dernier propose en effet des concerts, documentaires et créations originales mixés en binaural. Sur YouTube ou DailyMotion, vous trouverez également des vidéos reproduisant, par exemple, le son d'une coupe de cheveux: vous entendez les ciseaux parcourir l'arrière, les côtés et même le sommet de votre crâne (lire p.64). Mais le résultat est globalement assez décevant, à cause notamment de l'absence de sons provenant de l'avant du visage. Il faut dire qu'il manque à ces démonstrations un ingrédient essentiel: la personnalisation. Pour que l'algorithme binaural puisse

63%

DES POSSESSEURS d'iPad écoutent de la musique au casque dans les transports en commun. Mais la spatialisation au casque reste très limitée. La solution? Reconstituer le trajet naturel du son jusqu'à nos tympans.

2QÀ

HUGUES VINET
directeur scientifique de l'Ircam

IRCAM

Quelles possibilités la synthèse de champs acoustiques (WFS) offre-t-elle?

Des possibilités de manipulation du son inédites et un rendu inconnu auparavant! Jusqu'à présent, on pouvait uniquement déplacer des sources sonores dans l'espace. Or, ici, une fois la scène sonore enregistrée et modélisée, on peut lui appliquer des transformations telles que des rotations – les violons à droite passent à gauche, par exemple –, des homothéties – l'orchestre semble avoir doublé de taille –, etc. Ensuite, la synthèse de champs acoustiques recrée pour l'auditeur une source sonore à une position précise de l'espace, en combinant les ondes élémentaires de chacun des 264 haut-parleurs.

Quelles sont les premières applications concrètes de la WFS?

L'Institut du monde arabe dispose d'une installation permanente qui permet aux spectateurs, lors d'un concert, d'entendre la même chose quelle que soit leur place, alors que, avec un système stéréo, seuls ceux assis au centre de la salle bénéficieraient d'une spatialisation correcte. Le festival Classique au vert au Parc floral de Paris a également été sonorisé de cette manière.

restituer de façon réaliste une scène sonore, il doit disposer des mesures de la tête de l'auditeur. Ces dernières sont nommées Head-Related Transfer Functions (fonctions de transfert de l'oreille) ou HRTF. Il est possible de les obtenir en utilisant un ampli particulier, le Smyth Realiser A8.

Dans un premier temps, vous glissez dans vos oreilles des capsules intra-auriculaires pourvues de petits micros tournés vers l'extérieur. Ces dernières vont enregistrer des signaux de tests provenant des six enceintes du système 5.1 disposé autour de vous. En moins de quinze minutes, l'affaire est entendue : un algorithme déduit de cet enregistrement vos mesures de tête, qui sont mémorisées par l'ampli. Reste alors à brancher l'ampli entre votre platine CD ou DVD et votre casque : chaque fois que vous écouterez un enregistrement 5.1 au casque, l'ampli transformera le son en son binaural, et vous entendrez ce dernier comme s'il sortait des enceintes, autrement dit comme s'ils provenaient de plusieurs mètres de distance dans la direction des haut-parleurs, et non des écouteurs.

Le dispositif est complété par un capteur infrarouge placé sur le casque, qui détecte vos mouvements de tête. Selon Matthieu Parmentier (lire « Les dix fées de l'écoute au casque », ci-contre), directeur du projet Binaural Listening (BiLi), *« le son binaural non personnalisé procure entre 30 et 40 % d'impression d'externalisation. Avec les HRTF personnalisées, on atteint 70 % de réalisme, grâce notamment aux sons qui viennent de l'avant. Le capteur achève d'illusionner le cerveau et de créer un champ sonore réaliste. »* Pourquoi ? Parce que la position de la tête intervient aussi dans la localisation des sons. Des études ont en effet démontré que notre cerveau ne se fie pas seulement aux réflexions des ondes sonores sur le crâne, mais aussi à ce qu'il voit. Nos yeux nous disent où sont placées les enceintes, et cela aide le cerveau à préciser la provenance des sons ! L'écoute spatialisée n'est donc pas uniquement un phénomène psychoacoustique, mais un processus plurisensoriel.

« POUR PERSONNALISER LE SON, ON COMPARERA VOTRE VISAGE À DES SCANS 3D »

FRANCE TÉLÉVISIONS

MATTHIEU PARMENTIER, directeur du projet Binaural Listening (BilLi)

Le Smyth Realiser séduit les audiophiles fortunés (il coûte 2 990 euros) mais aussi les professionnels : *« Les ingénieurs du son de France Télévisions s'en servent pour travailler au casque en multicanal, par exemple dans les cars-régie pendant Roland Garros »*, confirme Matthieu Parmentier. Toutefois deux facteurs en limitent l'efficacité. Primo, le son que vous

L'ampli Smith Realiser permet de prendre les mesures de la tête de l'auditeur. Mais son prix est dissuasif. SMYTH REALISER

LES DIX FÉES DE L'ÉCOUTE AU CASQUE

Demain, équiper votre smartphone d'un lecteur multimédia et d'une appli simple et bon marché vous permettra de percevoir au casque des sons provenant de l'avant, de l'arrière et des côtés, comme au cœur d'un concert. C'est du moins un des objectifs fixés par le projet Binaural Listening (« écoute binaurale ») ou BiLi. Lancé en juin 2013 et prévu pour durer trois ans, ce projet scientifique et industriel réunit pas moins de 10 acteurs : trois organismes et centres de recherche (CNRS, Ircam et Orange Labs), trois créateurs de contenus (France Télévisions, Radio France et Conservatoire de Paris) et quatre PME. *« Nous avons la chance d'avoir beaucoup d'avance sur ce sujet,* assure Matthieu Parmentier de France Télévisions, directeur du projet. *Nous devons être les premiers à créer pour le grand public des technologies qui correspondent à l'usage du son binaural, pour les smartphones, la télé et la hi-fi. »*

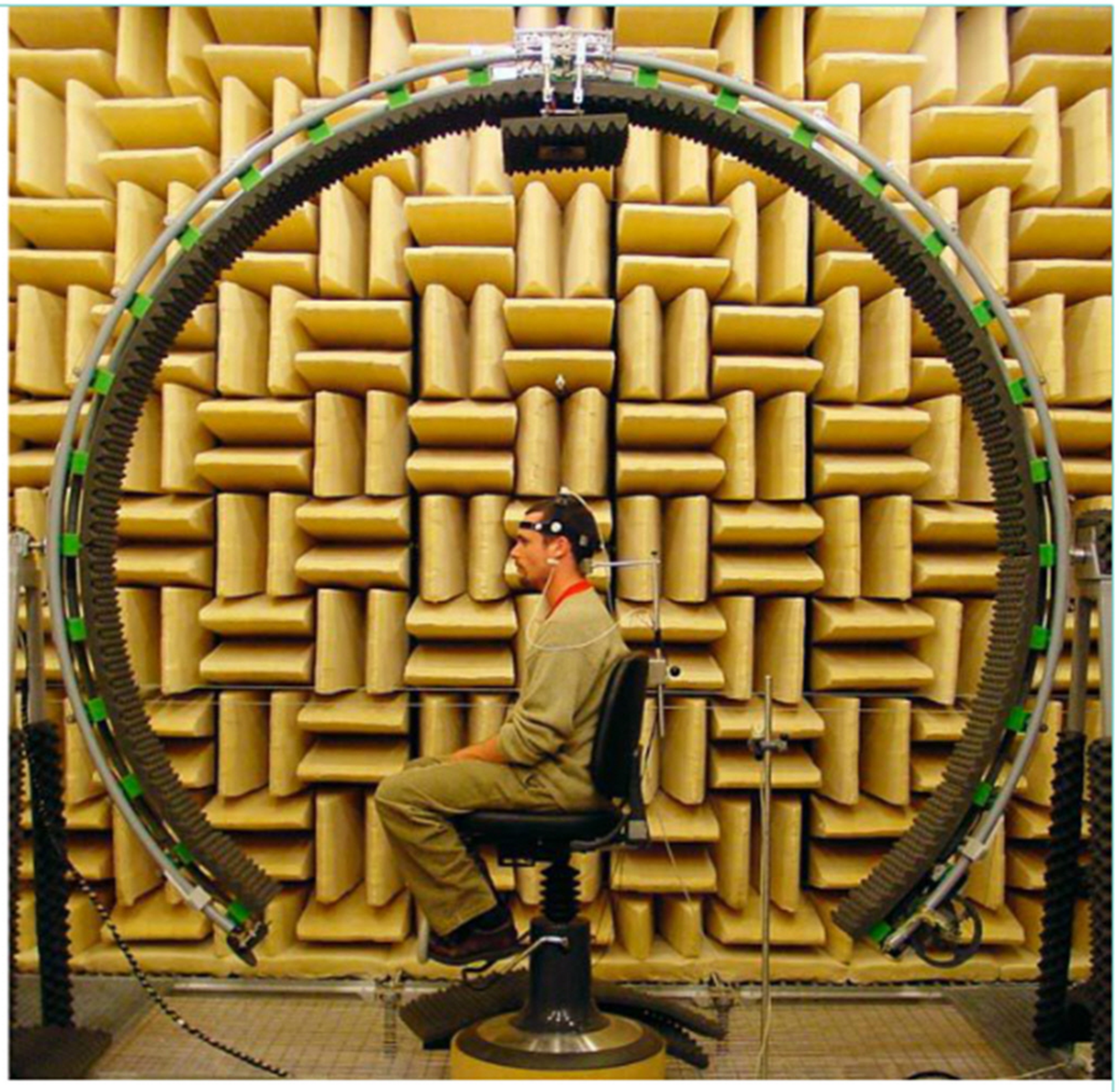
Standardiser les mesures de la tête des auditeurs (HRTF) au niveau mondial, est indispensable pour réaliser une reconstitution fidèle de la sphère sonore. L'idée est que n'importe quel lecteur audio ou vidéo puisse intégrer vos HRTF pour vous proposer une écoute au casque spatialisée selon vos mesures. Cela nécessite notamment de créer des algorithmes spécifiques ou « codecs » pour encoder et décoder les signaux audio et numériques, à l'image du MP3. *« Ces algorithmes seront intégrés dans les smartphones, les ordinateurs et les chaînes hi-fi, capables d'individualiser l'écoute binaurale des sources audio multicanales »*, explique Matthieu Parmentier.

entendez n'est pas neutre : c'est celui de la pièce et des enceintes qui ont servi à paramétrer les HRTF. Secundo, le Smyth Realiser ne reproduit le son que dans un plan horizontal, celui dans lequel sont situées les enceintes. Pour aller plus loin, il faut un dispositif capable de mesurer les HRTF seules, dans une sphère sonore enveloppant totalement l'auditeur. Un tel dispositif est installé dans la chambre anéchoïque de l'Ircam, une pièce totalement isolée et dépourvue de réflexions sonores, traversée par une passerelle à mi-hauteur sur laquelle on place par exemple une tête acoustique pour faire des mesures.

Les écouteurs diffuseront ce que vos oreilles auraient perçu dans la réalité

Olivier Warusfel est directeur scientifique du projet BiLi, au travers duquel un consortium d'industriels français tente de standardiser le son binaural. Il explique comment se déroule la mesure en chambre sourde : *« La séance dure une heure et demie. L'auditeur est assis sur une chaise pivotante, et les haut-parleurs sont montés sur des bras articulés qui permettent de les orienter dans toutes les directions. On effectue une première mesure à partir d'un groupe de haut-parleurs, puis on recommence en faisant pivoter l'auditeur de 5 ° en 5 ° et en déplaçant les haut-parleurs, jusqu'à créer une base de données de 1 600 HRTF. »*

Impossible cependant de faire défiler 60 millions de Français dans la chambre anéchoïque. Pour le grand public, une autre méthode s'impose. *« On se dirige vers la capture morphologique, qui consiste à comparer un scan en 3D de votre visage avec ceux de personnes dont on connaît déjà les HRTF*, explique Matthieu Parmentier. *50 personnes ont déjà été mesurées dans la chambre anéchoïque de l'Ircam et vont aussi passer au scan 3D. »* Mais comment vous et moi pouvons-nous obtenir ce scan ? L'IRM est exclue sans raisons médicales. *« On peut utiliser par exemple un capteur binoculaire, comme le Kinect de la console de jeux vidéos Xbox de Microsoft, ou même une série de photos en 2D réalisées par l'individu avec son smartphone. L'ambition de BiLi est justement de déterminer le niveau de précision nécessaire »*, expose Matthieu Parmentier, qui signale une autre possibilité : *« En naviguant dans une sorte de jeu interactif, au cours duquel il passe sans le savoir d'un profil HRTF à un autre, l'auditeur peut aussi découvrir peu à peu celui dont il est le plus proche. »*



L'auditeur est assis dans une chambre anéchoïque, et les haut-parleurs sont montés sur des bras articulés. Objectif : créer une base de données comportant 1 600 mesures de sa tête. JEAN-MARIE PERNAUX/TNO/ORANGELABS

Résumons-nous : si tout se passe comme prévu, lorsque le projet BiLi s'achèvera en 2016, nous disposerons d'une base de données de HRTF en ligne. Grâce à des tests interactifs ou à un scan 3D de notre tête, nous pourrons identifier le profil qui nous correspond. Et les chaînes hi-fi, téléviseurs, ordinateurs, smartphones et tablettes intégreront des décodeurs capables d'utiliser ce profil pour diffuser au casque un son binaural 100 % personnalisé à partir d'un signal multicanal. Excitant, non ? Il reste néanmoins des inconnues. Les deux années qui viennent suffiront-elles pour lever tous les obstacles techniques du projet ? Les industriels, éditeurs de logiciels et géants du Net s'entendront-ils sur un format standardisé de HRTF développé en France ? Enfin et surtout, les majors du disque, studios de cinéma et producteurs de télévision offriront-ils des contenus adaptés ? Rendez-vous en 2016 ! ※

Incapable de s'adapter aux technologies de son 3D à venir, le format d'écoute MP3 est voué à une mort programmée.
CHRIS TURNER/STONE/GETTY IMAGES

Le MP3 est mort, vive le MPEG-H !

La création du MP3 a lancé le phénomène du téléchargement en ligne. Mais ce format audio n'a pas épargné nos oreilles ! Un format bien plus performant est attendu en 2016. La guerre de succession est déjà ouverte.

PAR
Christian Blanc

Il a fait gagner des milliards à son concepteur, l'institut allemand Fraunhofer. Il a propulsé le téléchargement de musique en ligne et profondément modifié le visage de l'industrie du disque. Et, pourtant, les jours du MP3 sont comptés. Dans les salles de réunion feutrées de Paris, de Valence ou de New York, se discute actuellement le destin de ce format numérique historique. Autour de la table, le gratin mondial du son. Une quarantaine de laboratoires R&D parmi lesquels Dolby, Orange, Technicolor et, le plus gros de tous, l'institut Fraunhofer à Erlangen. Ce groupe se réunit pour décider du format numérique destiné à remplacer tous les autres à l'horizon 2016. *« La compétition est acharnée »*, note Matthieu Parmentier de France Télévisions. Il faut dire que chaque industriel tente d'imposer ses technologies pour qu'elles soient intégrées dans ce format !

Ce groupe se nomme « MPEG », pour « Moving Picture Experts Group », « groupe d'experts de l'image animée » en français. *« Il est composé d'entreprises du monde entier, regroupées dans des délégations nationales, qui se réunissent quatre fois par an*, explique Gregory Pallone, chercheur chez Orange et seul Français présent dans le sous-groupe « audio » du MPEG. *Le MPEG dépend de l'Organisation internationale de normalisation* [plus connue sous son sigle anglais ISO]*; il est chargé de la définition des normes au niveau mondial pour l'audio et la vidéo. »* Il s'agit même de l'autorité mondiale incontestée dans ce domaine, et cela depuis de nombreuses années. C'est à lui que l'on doit notamment la normalisation des formats MP3 pour la musique, MPEG-2 pour la vidéo des DVD et de la télé par ADSL, ou encore MPEG-4 pour la vidéo par Internet et les images HD des disques Blu-ray.

Derrière ces abréviations se cachent des algorithmes, des suites d'instructions informatiques destinées à l'encodage, sous forme de 0 et de 1, de sons et d'images. On appelle aussi ces algorithmes « codecs », néologisme né de la contraction de « COdeur » et « DÉCodeur ». La plupart des codecs intègrent aussi des algorithmes de compression et de décompression des données : ils permettent alors de réduire la taille des fichiers, souvent importante dans le cas des signaux audiovisuels, pour en faciliter le stockage sur les supports informatiques – disques durs, lecteurs de MP3, smartphones, etc. – et le transport sur les réseaux locaux et domestiques de téléphonie mobile et de broadcast (diffusion télévisuelle et radiophonique), ainsi que sur Internet.

Le plus populaire, le moins performant

Le plus populaire des codecs audio est le MP3, de son vrai nom « MPEG-1/2 audio Layer 3 ». Finalisé en 1992, il a été mis au point, entre autres, par des chercheurs de l'institut Fraunhofer. En réduisant de 3 à 12 fois la taille des fichiers musicaux, le MP3 a donné naissance au phénomène du téléchargement, ainsi qu'à un pan entier de l'industrie audio. Car si, à l'origine, seuls les ordinateurs étaient capables de

10 fois

C'EST LE TAUX DE COMPRESSION STANDARD d'un fichier MP3. Résultat : une perte d'information incompatible avec l'écoute 3D

lire les fichiers MP3, on a vu rapidement apparaître des lecteurs, des chaînes hi-fi et des autoradios compatibles. Aujourd'hui, n'importe quel smartphone, lecteur de CD ou radioréveil est capable de décoder un fichier MP3. Et la plupart des sites de vente de musique en ligne, à l'exception notable d'iTunes d'Apple, ont adopté ce format.

Alors, pourquoi le remplacer ? Parce que sa qualité apparaît de plus en plus médiocre aux auditeurs. Et pour cause : l'algorithme compresse les fichiers audio aux dépens d'une partie de l'information qui est… supprimée ! La compression MP3 se fonde en effet sur des recherches psycho-acoustiques tendant à démontrer que certaines des fréquences présentes dans un signal ne sont pas ou très peu audibles. On pourrait donc les supprimer sans nuire à la qualité d'écoute. Cette affirmation, contestée par de nombreux audiophiles et certains scientifiques, a longtemps été prise pour argent comptant par les consommateurs, abusés par des conditions d'écoute souvent très moyennes (lecteurs de MP3 bon marché, enceintes et écouteurs basse fidélité) qui ne permettaient pas d'effectuer une comparaison objective.

Mais, aujourd'hui, la qualité des appareils audio s'est améliorée, et le débit d'Internet est suffisant pour qu'on puisse télécharger du son pas ou peu compressé. Surtout, ce qui pénalise le MP3, c'est qu'il ne peut

Les sites de musique en ligne, à l'exception notable d'iTunes d'Apple, ont presque tous adopté le format MP3. MICHEL GAILLARD/REA

LA CONVERSION MP3 EN CHIFFRES

Lors de l'encodage d'un fichier audio en MP3, il est possible de choisir le taux de compression, ou plus exactement le débit de données du signal MP3 – c'est-à-dire la quantité de données utilisée pour encoder une seconde de son. Exprimé en kilobits par seconde (kbits/s), ce débit est inversement proportionnel au taux de compression : plus il est élevé, plus la qualité sonore mais aussi la taille du fichier augmentent.

À 8 kbits/s, valeur minimale, le son est tellement dégradé que la voix devient presque incompréhensible.

À 320 kbits/s, le maximum, la taille du fichier est divisée par 3 et le son est presque indiscernable de l'original.

En choisissant 128 kbits/s pour convertir un CD en MP3 – ce qui divisait la taille du fichier par 10 –, il était admis, au début des années 2000, lorsque le MP3 a commencé à se répandre, qu'on conservait globalement la qualité audio. Mais il suffit de comparer avec l'original, à l'aide d'enceintes hi-fi ou d'un bon casque, pour se rendre compte que c'est faux : la déperdition est importante, notamment dans les graves.

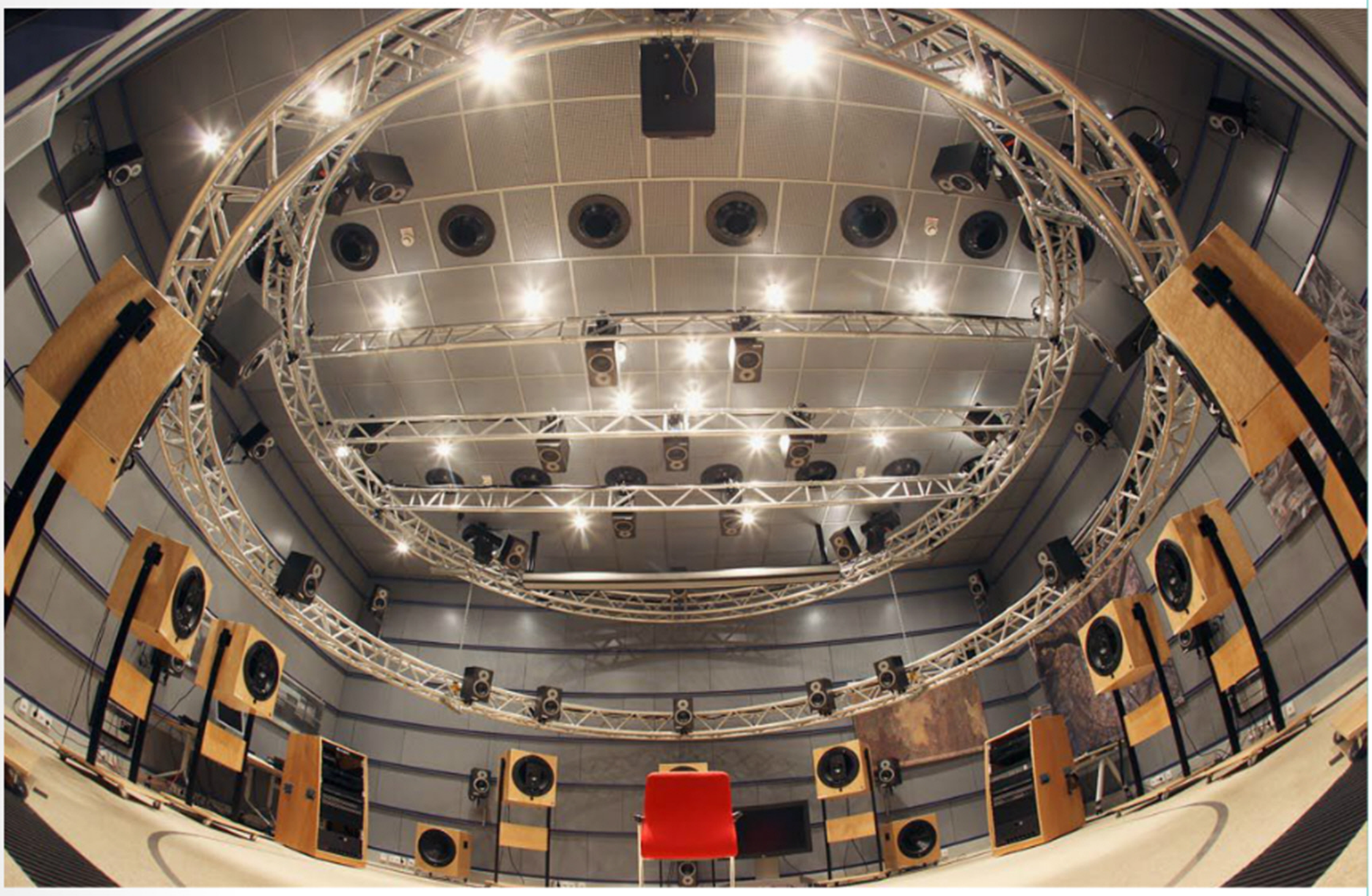
stocker et diffuser que des signaux stéréo : il est donc incapable de fournir un son tridimensionnel (lire « Le son comme vous ne l'avez jamais entendu », p. 48), à la hauteur des images à très haute définition qui se développent actuellement.

Le MPEG est donc en train de mettre la touche finale à un nouveau format, le MPEG-H, destiné à remplacer tous les autres à l'horizon 2016. Il s'agit d'un format audiovisuel complet. Il est composé de plusieurs codecs dont un pour la vidéo, nommé « HEVC », et un pour l'audio, dont le nom – peut-être pas définitif – est « MPEG-H 3D audio ». HEVC est le sigle anglais de « codage vidéo à haute efficacité ». Ce codec représente une avancée importante en termes d'efficacité de l'algorithme de compression, puisqu'il réduit de moitié le débit de données nécessaire par rapport au MPEG-4 actuel, à qualité d'image égale. « *Le codec HEVC est déjà finalisé et publié. Quant au codec MPEG-H 3D audio, il est en cours de normalisation. Nous envisageons de publier la norme internationale MPEG-H complète en janvier 2015* », précise Gregory Pallone.

Autant dire que la compétition fait rage. Derrière les concertations du MPEG se cachent en effet des

LE MPEG-H PRÊT POUR LA RESTITUTION 3D

Les concepteurs du MPEG-H 3D audio ont tout prévu : leur format est compatible avec trois des technologies de son 3D que nous avons décrites dans « Le son comme vous ne l'avez jamais entendu », p. 48. « *Le MPEG-H 3D audio est compatible avec les sources multicanales du type Dolby Digital ou du DTS 5.1 ou 7.1, et cela jusqu'au 22.2, mais aussi avec des fichiers issus de technologies de "mixage objet", comme le Dolby Atmos ou le son Ambisonique* », précise Gregory Pallone, d'Orange.



50 haut-parleurs et 70 m². Situé dans l'institut Fraunhofer à Erlangen, Mozart est l'un des laboratoires qui élabore les technologies du son 3D.
FRAUNHOFER IIS, K. FUCHS

L'installation délirante de Jeremy Kipnis, monomaniaque du son, sera magnifiée par le prochain format audio.
WENN/SIPA

enjeux économiques considérables. « *Chacun des grands labos propose ses technologies en espérant qu'elles seront intégrées dans le format MPEG-H,* affirme Matthieu Parmentier. *C'est la dernière ligne droite, car je pense que les industriels dont les technologies vont être choisies seront désignés cet été. Et si le MPEG-H devient aussi célèbre que le MP3 ou le MPEG-4, ce seront des revenus assurés pendant dix ans.* »

C'est ce qui s'est passé pour l'institut Fraunhofer, lequel a gagné des sommes considérables grâce au brevet du MP3. Étonnant pour un format dont le succès repose sur la gratuité, et sur le fait qu'il ne renferme aucun dispositif de protection contre la copie ? Pas tant que cela. « *Lorsque le MPEG normalise un format, il publie les spécifications des codecs. L'utilisateur final – vous et moi – peut utiliser ce format et ces codecs gratuitement,* explique Gregory Pallone. *Mais il a payé le smartphone, l'ordinateur, le téléviseur ou la chaîne hi-fi qui, lui, sert à écouter la musique et à regarder les images. Et le fabricant de ce terminal doit, lui, s'acquitter d'une licence pour avoir le droit d'utiliser le décodeur MPEG intégrant des technologies développées par différentes entreprises qui sont protégées par des brevets.* » Autrement dit, une partie de l'argent investi dans les appareils capables de décoder les formats numériques est reversée, sous forme de royalties, aux sociétés qui ont participé à la mise au point des algorithmes de décodage.

Les entreprises dont les technologies sont intégrées dans le MPEG-H 3D ont donc tout intérêt

L'ALGORITHME OPUS POUR MIEUX TÉLÉPHONER

Qu'elle soit mobile, fixe ou par Internet, la téléphonie est un enjeu majeur de la recherche sur le son. Car depuis que la téléphonie est devenue numérique, elle utilise aussi des algorithmes de compression ou codecs. Toutefois les codecs utilisés sont différents de ceux de la musique et de la vidéo. Les opérateurs doivent notamment veiller à ce que le temps de latence, ce retard qui intervient entre le moment où un son est émis et celui où son destinataire l'entend à l'autre bout de la ligne, soit le plus faible possible.
Pour ce faire, la plupart des opérateurs téléphoniques utilisent des codecs conversationnels dits « à faible temps de latence ». Mais un codec beaucoup plus performant nommé « Opus » a fait depuis peu son apparition. Il s'appuie en partie sur des technologies développées par l'opérateur Skype et a été intégré aux navigateurs Firefox, de Mozilla, et Chrome, de Google. Cet algorithme adapte de façon dynamique la qualité sonore à la bande passante disponible sur le réseau : plus celui-ci « rame », plus le taux de compression augmente, quitte à diminuer un peu la qualité du son. C'est indispensable pour préserver la qualité des conversations sur l'Internet à bas débit, notamment avec les appareils mobiles.

Le MP3 a rapporté des milliards à son concepteur, l'institut Fraunhofer. Si le MPEG-H devient aussi célèbre, son inventeur bénéficiera d'une manne financière pendant dix ans

à ce que ce format devienne un standard international au même titre que le MP3. Et il a de bonnes chances de l'être, car il apporte une innovation fondamentale par rapport aux codecs existants : le son 3D.

Avec un nouveau format, une expérience sonore inégalée

« Les formats numériques actuels se contentent de répartir le son sur 2 canaux, pour la stéréo, 5 ou 7 canaux audio au maximum pour le home cinéma, et de les diffuser dans un plan horizontal, explique Gregory Pallone. *Avec le MPEG-H 3D audio, il sera possible d'associer à l'image ultrahaute définition ou 4K de la prochaine génération de téléviseurs une expérience sonore à la hauteur. Le consommateur sera immergé dans une sphère sonore, avec des sons qui viennent d'en haut et d'en bas, et des sources sonores simulées qui semblent se situer plus près que les haut-parleurs, ou au contraire au-delà. »*

Une promesse alléchante, mais est-elle réaliste ? Ce dispositif de son immersif fonctionnera-t-il avec toutes les configurations, du casque au kit d'enceintes 5.1 en passant par une installation stéréo classique ? *« Nous sommes conscients du fait que la disposition des enceintes chez M. Tout-le-monde n'est pas forcément idéale ; les enceintes avant de son système 5.1 ne sont pas toujours placées à 30 ° et les enceintes arrière à 110 °, comme il se doit. Il est donc prévu que le rendu sonore du MPEG-H 3D audio s'adapte au système de l'auditeur. Ce dernier placera les enceintes où il peut, puis il indiquera au décodeur le nombre et la position des haut-parleurs, et la machine adaptera la restitution sonore à cette configuration. »*

Voilà une propriété étonnante du décodeur : il sera capable « d'apprendre » la disposition de vos enceintes pour optimiser le rendu sonore dans votre salon ! Impossible toutefois, à ce stade, de savoir comment cela se fera en pratique. Gregory Pallone précise seulement que les fabricants pourront ajouter à leurs chaînes hi-fi des systèmes de calibration automatique, tels qu'il en existe déjà sur certains kits 5.1 et barres de son : on place un microphone à la position d'écoute idéale (le canapé du salon), l'appareil envoie des signaux audio dans les différents haut-parleurs, déduit leur position des signaux renvoyés par le micro, et adapte la spatialisation du son à la configuration particulière de votre installation.

On l'a compris, le MPEG-H 3D audio est un format polyvalent, à la pointe de la technologie et prêt pour les évolutions de la diffusion musicale et du broadcast. Mais va-t-il pour autant remplacer tous les autres ? Certaines entreprises, notamment les pionniers américains Dolby et DTS, comptent bien introduire un grain de sable dans la machine en proposant des formats concurrents. Dolby travaillerait ainsi sur une adaptation de l'Atmos pour la diffusion musicale et télévisuelle. Et DTS développe un format de « mixage objet » du son 3D nommé MDA (Multi-Dimensional Audio).

Même Gregory Pallone, pourtant membre du MPEG, joue la prudence : *« Je ne peux pas affirmer aujourd'hui que le MPEG-H sera présent dans les prochaines générations de décodeurs télé. Pour ce qui est de l'image vidéo, il semble que le HEVC ait de bonnes chances de devenir la norme. Mais, pour l'audio, rien n'est encore décidé. »* ※

L'image à ultrahaute définition de la prochaine génération de téléviseurs mérite bien un nouveau format sonore. CES 2014

LES NOUVELLES DIMENSIONS DU SON

LIVRES

PRISE DE SON : STÉRÉOPHONIE ET SON MULTICANAL

Christian Hugonnet, Pierre Walder et Charles Dutoit
Eyrolles, 2012, 358 p., 36 €

Cette nouvelle édition comprend trois chapitres inédits consacrés au son multicanal (surround). Outre les notions indispensables à tout preneur de son, ce livre apporte des informations pratiques sur l'acoustique et la perception sonore.

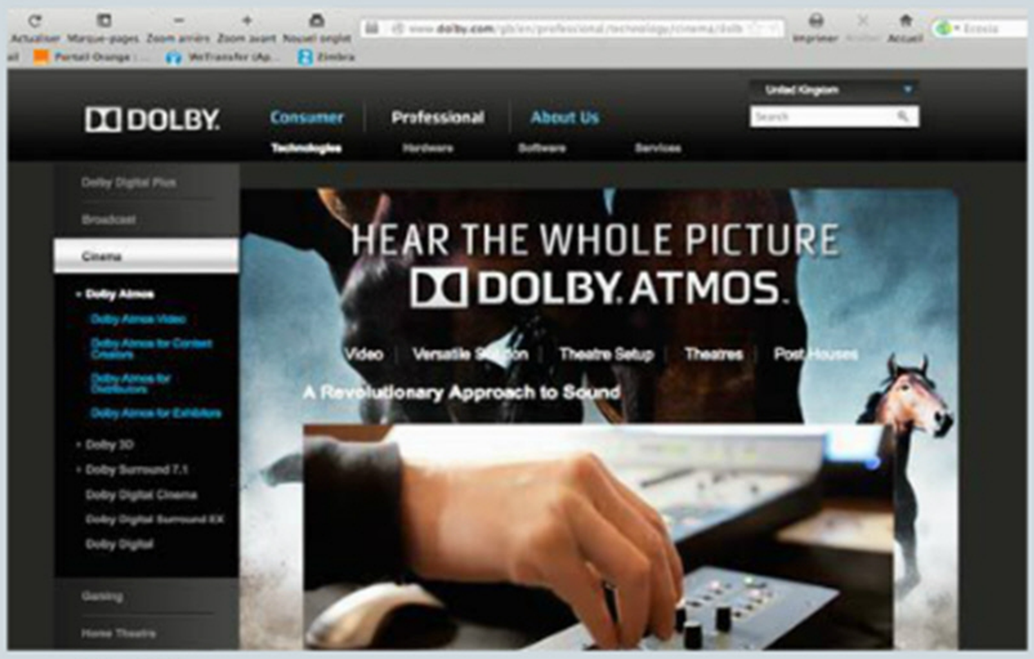
DVD

LE HOBBIT, UN VOYAGE INATTENDU

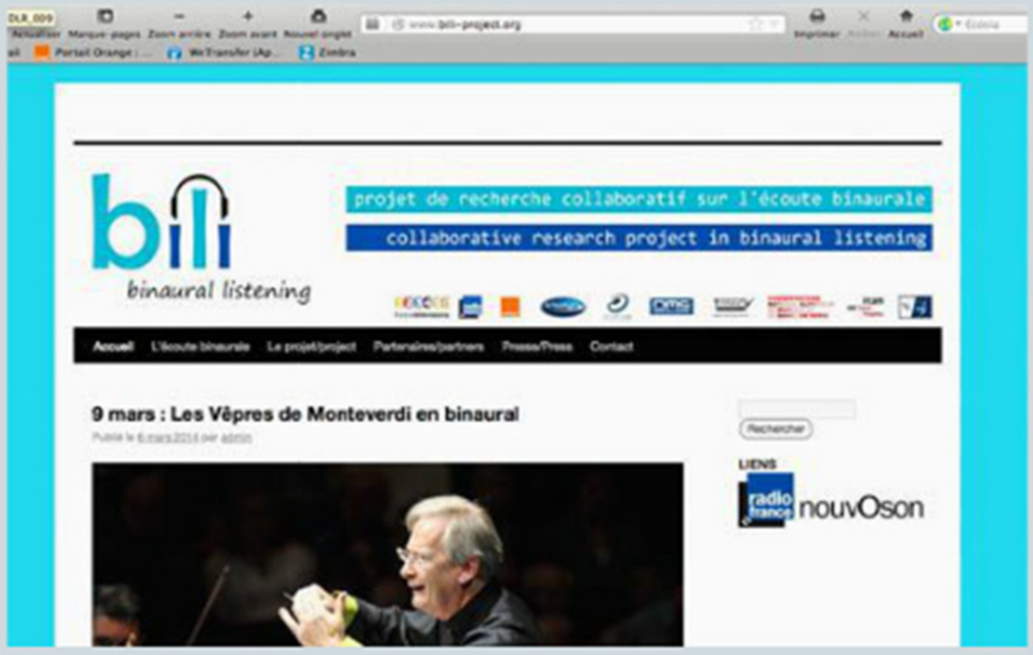
Film fantastique anglo-saxon (2012), réalisé par Peter Jackson
Avec Martin Freeman, Ian McKellen et Richard Armitage

Le hobbit Bilbon Sacquet accompagne un groupe de treize nains pour aller délivrer leur royaume du dragon Smaug. Au cours de son périple, il rencontre le Gollum, créature étrange, à qui il dérobe son «précieux» anneau, aux pouvoirs inattendus.
Ce premier épisode d'une saga qui vise à expliquer les origines du Seigneur des Anneaux a été mixé en Dolby Atmos, ce qui lui confère un son au réalisme incomparable… à condition que la salle soit adaptée à ce système.

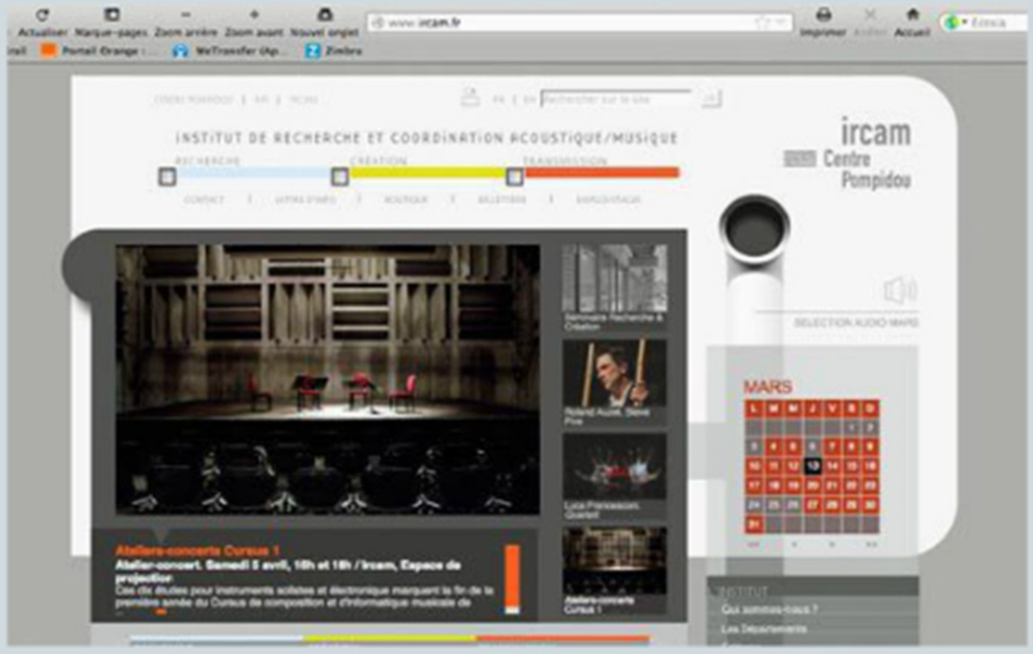
SITES



goo.gl/ipt6ZI



www.bili-project.org



www.ircam.fr

goo.gl/ipt6ZI
Pour tout savoir sur le Dolby Atmos, et trouver les salles qui utilisent cette technologie

www.bili-project.org
Le site du projet BiLi

www.ircam.fr
Le site de l'Ircam, organisme de recherche unique au monde

goo.gl/E3ODOj
La liste des films mixés en Atmos

np.sonicemotion.com
Le site de Sonic Emotion (en anglais), avec des informations sur les «barres de son» qui intègrent les technologies de son 3D

www.euphonia.fr/news.htm
Le site d'Euphonia, distributeur français des produits Sonic Emotion, avec des témoignages et des annonces de concerts en WFS

goo.gl/qw2dBt
Vidéo sur l'utilisation de la WFS lors des festivals «Classique au vert» et «Paris Jazz Festival» au Parc floral de Paris, en 2013

nouvoson.radiofrance.fr
Le site NouvOson de Radio France qui permet d'écouter des musiques, effets sonores et des documentaires en binaural

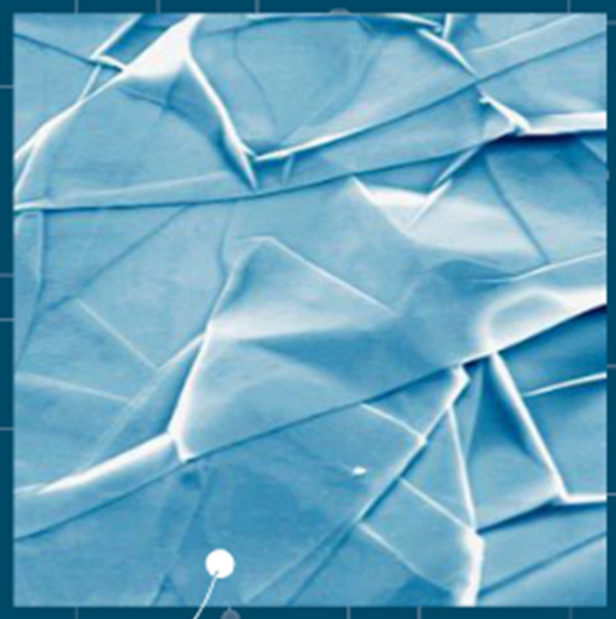
http://goo.gl/Kfb2cf
Plusieurs exemples de son binaural à écouter, dont la «coupe de cheveux» : goo.gl/DP82n7

smyth-research.com/technology.html
Une explication du concepteur sur le fonctionnement du Realiser A8 (en anglais)

mpeg.chiariglione.org
Documents sur le format MPEG-H, sur le site du groupe MPEG (en anglais). Avec, en cliquant sur «High Efficiency Video Coding», un descriptif de la norme HEVC

CULTURE LAB

Génie génétique
Des Français primés par le MIT
> P. 66



Le graphène
200 fois plus solide que l'acier
> P. 72

Drones
La téléphonie mobile les a fait décoller
> P. 80

Expos, livres, concours...
Suivez le guide!
> P. 90

IGEM FOUNDATION AND JUSTIN KNIGHT, COSMOS, SENSEFLY, PLANÈTE SCIENCES, DR

Les Français, champions des bactéries

Quoi de plus commun qu'une bactérie ? Pourtant, en modifiant ses gènes, on peut s'en servir pour élaborer des molécules inédites, très vite et à petit prix...

PAR
Anne Lefèvre-Balleydier

Matthew est féru de microbiologie. Sebastian est passionné de modélisation. Quant à Marguerite, elle est élève en design à l'école Boulle.
À l'évidence, les univers de ces étudiants sont assez éloignés.
Et c'est sans doute la clé de leur succès. Le projet sur lequel leur équipe a planché tout l'été 2013, dans une université parisienne, a en effet remporté le grand prix de la compétition internationale des machines génétiquement modifiées (Igem, acronyme anglo-saxon d'International Genetically Engineered Machine Competition). Objectif ? Élaborer des êtres vivants dotés de capacités hors normes. De quoi susciter des vocations dans un domaine de recherche en plein essor : la biologie de synthèse.

Cette discipline a des contours si flous qu'elle fait l'objet d'une blague au MIT, à Cambridge, aux États-Unis : *« Si vous enfermez six biologistes dans une pièce, ils vous donneront sept définitions différentes de la biologie de synthèse ! »*
Une ligne directrice se dessine toutefois : il s'agit de créer des cellules ayant des propriétés inédites, pour l'instant en ajoutant ou en retirant des gènes. Et, à terme, en fabriquant de toutes pièces une séquence d'ADN qui n'existe pas dans la nature.
L'ADN renferme en effet, sous forme de gènes, les notices de fabrication de toutes les protéines de nos cellules : elles sont écrites dans un alphabet à quatre lettres, qui est le même pour tous les êtres vivants. Ces gènes peuvent être manipulés à l'aide d'enzymes : certaines agissent comme des ciseaux, en coupant l'ADN, d'autres font office de colle moléculaire, d'autres encore peuvent lancer la photocopie des gènes, etc. Dès lors, la construction d'organismes génétiquement modifiés, ou OGM, est possible.
En modifiant leur ADN, via des ajouts et des retraits de gènes d'espèces différentes, on obtient, par exemple, un maïs capable de résister aux insectes qui ravagent les cultures. Ou une bactérie qui fabrique de l'insuline humaine.

Assembler une « machine » vivante, comme un Lego

Seulement au MIT, des ingénieurs trouvent que ces OGM pèchent par leur côté artisanal : n'y aurait-il pas moyen de rationaliser leur fabrication, comme on le fait pour construire des machines ?
Pour y parvenir, ils misent sur des jeunes qui n'ont pas encore terminé leurs études, et qui pourront éventuellement approfondir le sujet en doctorat.
En 2004, le MIT lance ainsi le concours Igem, destiné aux étudiants de premier et de deuxième cycle universitaire.

Les champions des bactéries laissent éclater leur joie. En novembre 2013, l'équipe française au complet reçoit le grand prix du MIT à Cambridge, aux États-Unis. Elle a façonné quatre « machines vivantes » pour lutter contre la tuberculose.
IGEM FOUNDATION AND JUSTIN KNIGHT

Chaque année, le principe est le même : au départ, les étudiants ont entre les mains une cellule vivante connue, la bactérie *Escherichia coli,* ou *E. coli*, très utilisée dans les laboratoires. Ils vont la transformer en lui ajoutant ou en lui retirant un certain nombre de gènes.

Dans ce concours, toutefois, on ne parle pas de gènes mais de « biobriques ». Dans les locaux de l'Igem, à Cambridge, ces dernières sont stockées par milliers à l'intérieur d'un frigo. Chacune consiste en un fragment d'ADN qui porte un gène particulier : par exemple, celui qui contrôle la synthèse d'une protéine toxique chez un insecte donné. Ce gène est encadré de deux extrémités particulières, ou « codons », qui permettent à la cellule de lire le gène et d'arrêter sa lecture. La particularité des biobriques, c'est que ces extrémités sont toujours les mêmes, contrairement aux gènes des organismes naturels qui portent des codons très variés. Une idée qui facilite l'assemblage des biobriques entre elles.

Les frigos du MIT renferment des milliers de fragments d'ADN qui portent un gène. Aux étudiants de s'en servir !

En mai, les étudiants choisissent dans le catalogue de l'Igem les biobriques qu'ils souhaitent se procurer. À charge pour eux de les placer dans une cellule vivante, pour les faire fonctionner dans un but précis : par exemple, fabriquer un organisme capable de lutter contre les moisissures (lire « Les autres projets du concours MIT », p. 70).

Tester l'effet d'un traitement en quelques heures

Les étudiants ont tout l'été pour mettre au point leur « machine » vivante. Mais pas question de se lancer à l'aveuglette : il faut bien définir la tâche que l'on veut conférer à sa machine, pour choisir les bonnes biobriques, voire en concevoir de nouvelles.

Au Centre de recherches interdisciplinaires (CRI) de l'université Paris-Descartes, les étudiants de licence et de master ont quelques mois pour travailler sur le sujet. Le CRI participe depuis 2007 au concours de l'Igem, grâce au soutien de la Fondation Bettencourt Schueller. En mars 2013, la future équipe gagnante se constitue au sein d'un club. Et épluche quantité de résultats scientifiques. *« Très vite, nous avons repéré plusieurs pistes qui nous intéressaient, dans le domaine de la santé*, se souvient Aude Bernheim, aujourd'hui élève ingénieure du corps des ingénieurs des ponts, eaux et forêts. *Au fil des discussions, nous avons choisi d'utiliser les biobriques pour lutter contre la tuberculose. »*

Cette maladie provoquée par une bactérie ou « bacille » fait plus de 1 million de morts par an, principalement parce que ces micro-organismes sont devenus résistants aux antibiotiques. Or le dépistage des bactéries résistantes est long et coûteux, tout comme la mise au point de nouveaux

OBJECTIF : LUTTER CONTRE LA TUBERCULOSE

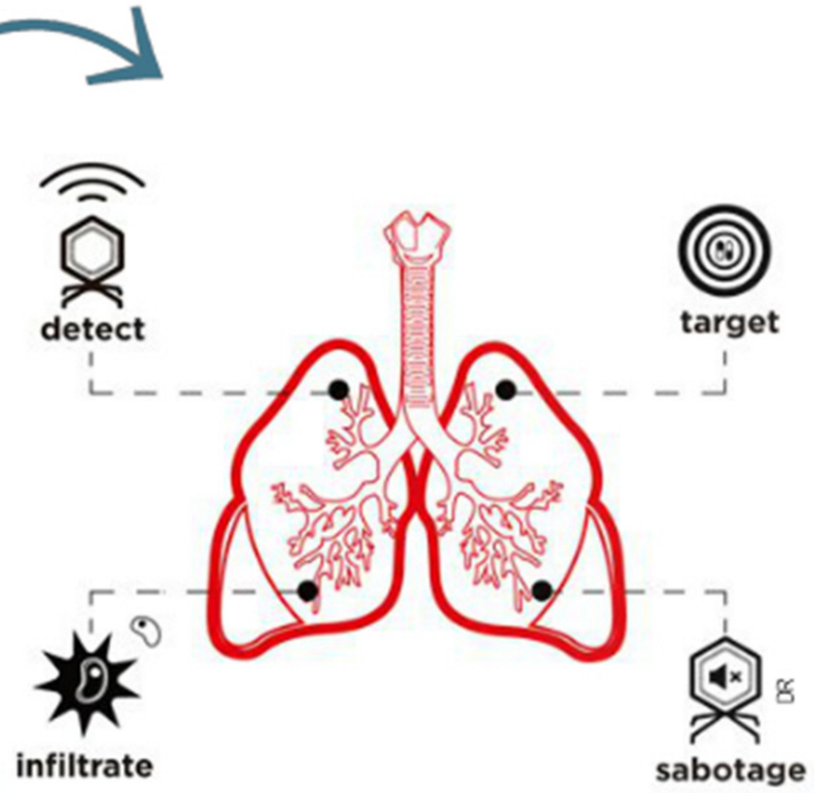
L'équipe française qui a remporté le concours MIT 2013 a façonné non pas un, mais quatre organismes génétiquement modifiés. Autant d'armes potentielles contre la tuberculose.

« Detect » ou la bactérie vigile. Tirant parti du « système immunitaire » des bactéries, l'équipe a éduqué celui d'*Escherichia coli* (*E. coli*) afin qu'elle puisse détecter le gène de résistance du bacille de la tuberculose, donc la présence du bacille.

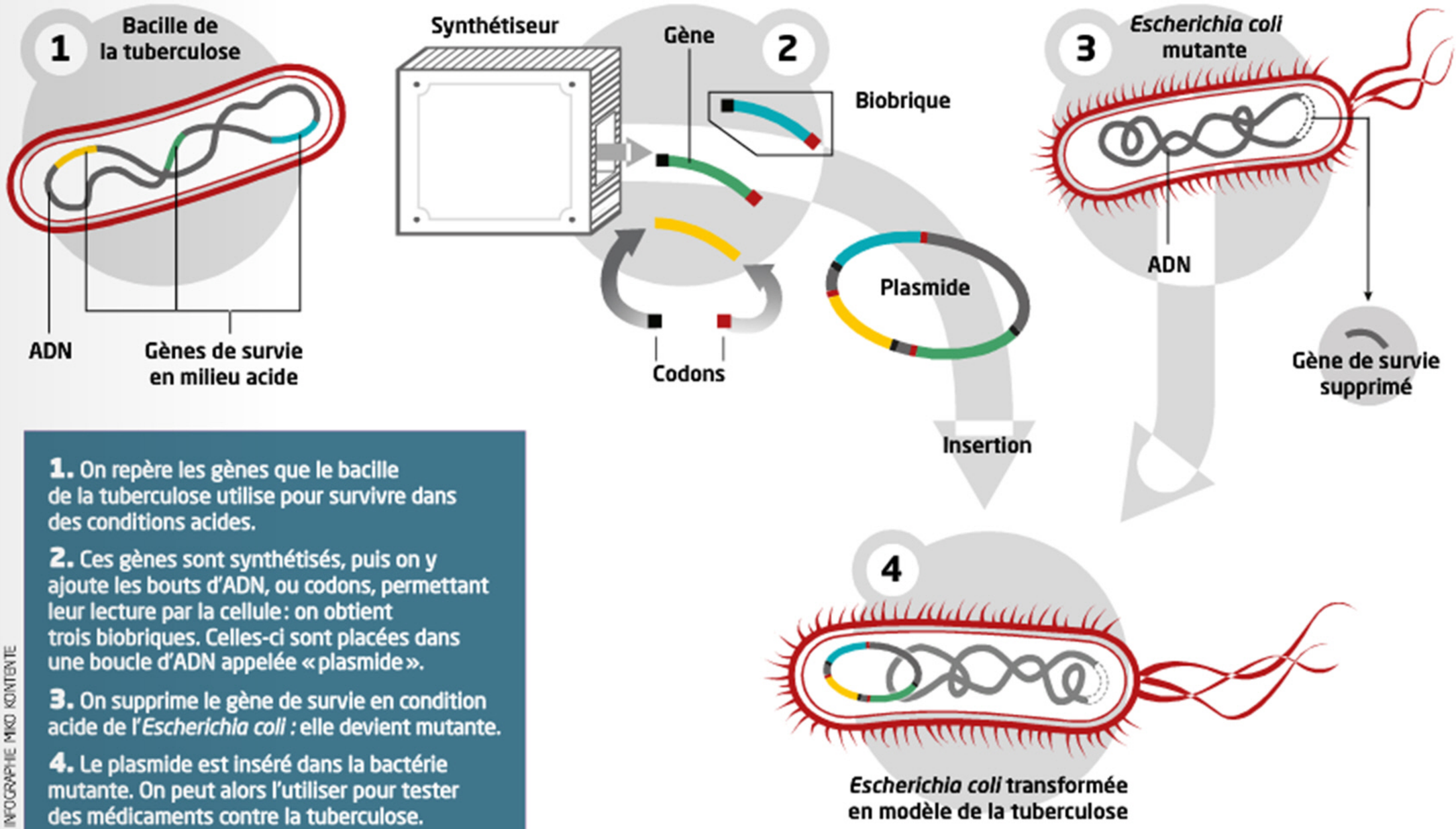
« Target » ou la bactérie modèle. Un mécanisme vital pour le bacille de la tuberculose est transféré dans *E. coli*, afin que l'on puisse tester sur elle de nouveaux médicaments. Si *E. coli* modifiée meurt, le remède est efficace.

« Infiltrate » ou la bactérie tueuse. En lui ajoutant deux gènes, *E. coli* devient capable de s'infiltrer dans les cellules que le bacille de la tuberculose infecte, puis de tuer le bacille.

« Sabotage » ou la résistance aux antibiotiques vaincue. L'équipe fabrique un virus modifié capable d'inactiver le gène conférant au bacille de la tuberculose sa résistance aux antibiotiques. Les antibiotiques redeviennent un traitement efficace contre la tuberculose.



FABRICATION D'UNE BACTÉRIE MODÈLE



1. On repère les gènes que le bacille de la tuberculose utilise pour survivre dans des conditions acides.

2. Ces gènes sont synthétisés, puis on y ajoute les bouts d'ADN, ou codons, permettant leur lecture par la cellule : on obtient trois biobriques. Celles-ci sont placées dans une boucle d'ADN appelée « plasmide ».

3. On supprime le gène de survie en condition acide de l'*Escherichia coli :* elle devient mutante.

4. Le plasmide est inséré dans la bactérie mutante. On peut alors l'utiliser pour tester des médicaments contre la tuberculose.

INFOGRAPHIE MKD KONTENTE

médicaments. Comment rendre la détection et les traitements plus rapides et moins chers ?

L'équipe décide de scinder son projet en quatre volets, pour mettre au point quatre machines biologiques (lire « Objectif : lutter contre la tuberculose », p. 68). Un travail d'équipe, avec moult allers-retours entre l'ordinateur et la paillasse. La machine biologique du volet « target » révèle son potentiel à la toute fin de la compétition. Et quelle efficacité ! Au départ, cette machine a été conçue avec un objectif : constituer un organisme vivant permettant d'accélérer la découverte de nouveaux médicaments contre la tuberculose. De fait, *« le bacille à l'origine de la maladie se développe très lentement en milieu de culture*, explique Aude Bernheim. *Pour savoir si une molécule est efficace, autrement dit si elle a empêché la colonie de bacilles de croître, il faut attendre jusqu'à trois semaines »*. À l'opposé, la bactérie *E. coli* a une croissance si rapide que l'on voit sur elle l'effet d'un médicament en quelques heures.

L'idée consiste donc à utiliser la bactérie *E. coli* à la place du bacille, en lui donnant certaines de ses caractéristiques. Mais lesquelles choisir ? On sait qu'au moment où il infecte nos poumons, et plus précisément à l'intérieur de certains globules blancs, le bacille se trouve dans des conditions acides. Cet environnement l'oblige à renouveler son stock en certains acides aminés, à l'aide de trois enzymes. S'il ne le fait pas, il meurt. Or, dans les mêmes conditions, *E. coli* a le même problème, mais s'appuie sur une enzyme différente.

Les étudiants commencent donc par mettre hors-service chez *E. coli* le gène de cette enzyme (lire « Fabrication d'une bactérie modèle », ci-dessus) : ils obtiennent

une bactérie mutante. Puis ils fouillent dans les études réalisées sur le bacille, pour trouver les recettes de fabrication des enzymes qui lui sont propres : il s'agit de savoir comment ces gènes sont écrits, pour les commander à une société spécialisée dans la synthèse chimique d'ADN.

Effectuer des simulations informatiques

Pour des raisons de sécurité, il est interdit de travailler avec ce bacille, sauf dans des laboratoires spécialement équipés. Du coup, l'équipe de Paris-Bettencourt s'appuie sur une cousine du bacille de la tuberculose, naturellement équipée du même système.

Une fois l'écriture de ses gènes connue, les étudiants peuvent passer commande. Puis, sitôt les gènes reçus, ils leur ajoutent de chaque côté des codons de début et de fin de lecture : en clair, ils construisent trois biobriques ! Ne reste plus qu'à les assembler, les insérer dans la bactérie mutée, puis vérifier qu'elle se développe normalement. Une fois ces étapes franchies avec succès, l'équipe peut enfin tester le potentiel de sa machine génétiquement modifiée :

Les Français Anne Lochner et Nicolas Koutsoubelis travaillent sur l'une des bactéries mutantes.
PARIS BETTENCOURT

elle la met en présence de différentes substances pour voir lesquelles ciblent l'une des trois enzymes et tuent ainsi la bactérie. Les résultats sont visibles en quelques heures, contre trois semaines pour le bacille. Et, a priori, tout semble bien parti…

En faisant des simulations informatiques, l'équipe repère deux molécules capables de cibler l'une des trois enzymes. Puis, sur la paillasse, elle constate que l'une des deux élimine bien son *E. coli* modifiée. Pour agir, elle doit toutefois être employée à très hautes doses. Mais l'équipe y voit un premier succès, avant de passer aux choses sérieuses : grâce à une convention signée entre les instituts nationaux de la santé américains (NIH) et son laboratoire d'accueil, elle doit en effet recevoir un stock de 1 500 autres molécules potentiellement efficaces.

Gagner la course contre la montre

C'est sans compter le « shutdown » : suite à des désaccords entre le Congrès et le Sénat américains, plusieurs administrations, dont les NIH, vont fermer leurs portes. Les précieuses molécules n'arrivent ainsi que quelques jours avant le départ pour la compétition à Cambridge. Une véritable course contre la montre ! « *Nous avons dû tout tester en une nuit,* raconte Aude Bernheim, *puis enregistrer les données et les emporter avec nous en allant prendre l'avion !* »

Il n'empêche. Les résultats, analysés en quatrième vitesse, sont extrêmement prometteurs : 10 molécules semblent efficaces.

LES AUTRES PROJETS DU CONCOURS

Les étudiants qui ont participé en 2013 au grand prix organisé par le MIT ne manquent pas d'idées. Jugez plutôt.

Empêcher le polystyrène biodégradable de moisir grâce à une communauté de bactéries modifiées adhérant à ce polystyrène a été le thème de recherche de l'équipe de Cornell, dans l'État de New York, aux États-Unis.

Mesurer le taux d'antibiotiques présent dans le lait des supermarchés avec un instrument portatif a mobilisé les étudiants chinois de l'institut de technologie de Pékin.

Protéger les abeilles a séduit l'université taïwanaise de Yang Ming, à Taipei. Une équipe a testé des pilules à base de bactéries, qui pourraient éradiquer le parasite décimant ces insectes.

Remplacer le colorant tiré du pétrole par une bactérie pouvant produire de la teinture indigo a été l'objectif d'étudiants de l'université de Berkeley, aux États-Unis.

Or le taux de réussite de ce genre de tests est habituellement 1000 fois moindre. Pas étonnant que le projet de l'équipe Paris-Bettencourt ait reçu le grand prix ! Deux publications dans des revues scientifiques vont suivre, et le volet « target » est approfondi dans le laboratoire Inserm d'Ariel Lindner, cofondateur du CRI.

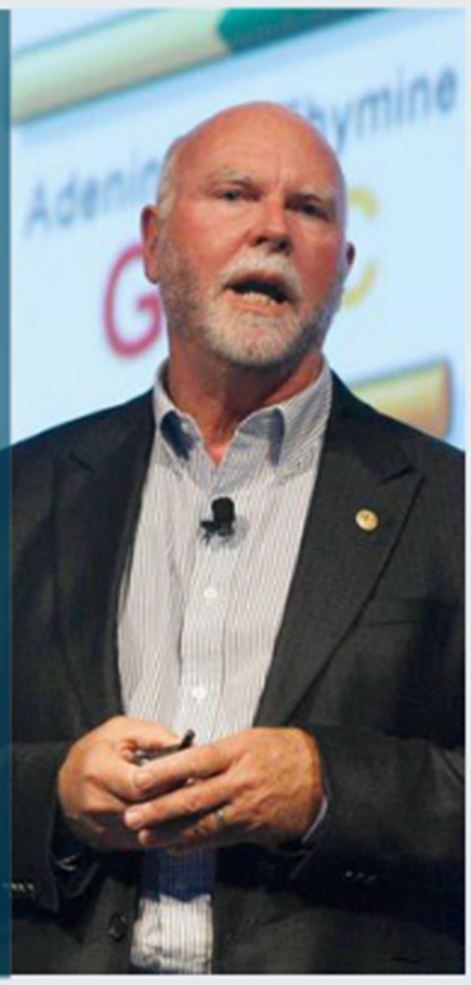
Garder la tête froide face aux applications possibles

Ce projet de biologie de synthèse n'est bien évidemment pas seul au monde. D'après un rapport parlementaire rédigé voilà deux ans par Geneviève Fioraso, ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, depuis 2012, si le nombre de scientifiques dans le monde liés explicitement à cette discipline ne dépasse pas le millier, le nombre de recherches qui s'y raccroche est, lui, bien plus important. Et le champ de leurs applications donne le vertige.

Santé, énergie, chimie, environnement, agriculture… Difficile de trouver un domaine qui ne soit pas concerné par la biologie de synthèse. Côté santé, des chercheurs américains ont ainsi mis au point une souche de levure capable de produire un intermédiaire clé de l'artémisinine, une molécule utilisée dans le traitement du paludisme. La même levure, manipulée cette fois par une équipe française, peut fabriquer de l'hydrocortisone, un puissant anti-inflammatoire dont la synthèse chimique est pour l'instant longue et coûteuse. La biologie de synthèse devrait aussi permettre de développer des outils de dépistage pour différentes maladies, comme l'illustre le projet de Paris-Bettencourt.

LES AMBITIONS DE CRAIG VENTER

Vérifier qu'une cellule peut vivre avec un nombre minimal de gènes. Tel était le but du projet de l'Américain Craig Venter, qui en 2010 affirmait avoir créé une « cellule synthétique » de toutes pièces. En mettant hors-service les uns après les autres les gènes d'une bactérie, autrement dit les plans de construction de ses protéines, son équipe a d'abord repéré combien lui sont vitaux. Les chercheurs ont ensuite procédé à la synthèse chimique de ces gènes, à l'aide d'un ordinateur capable d'assembler une à une les bases, c'est-à-dire les lettres de l'alphabet génétique. Puis ils ont réuni les gènes bout par bout, en les transférant dans une levure. Enfin, ils ont implanté ce kit minimal de gènes dans une bactérie hôte, au préalable débarrassée de ses propres gènes, et vérifié qu'elle restait viable. En lieu et place d'une cellule synthétique, c'est donc une bactérie archi-modifiée qu'ils ont conçue.



FRANCISCO GUASCO/EPA/CORBIS

Aujourd'hui, quelques jours et moins de 1000 € suffisent pour fabriquer un gène

Et l'on imagine également en tirer des biocarburants, s'en servir pour détecter et éliminer des polluants dangereux, ou encore fabriquer tout un tas de matériaux et de produits chimiques pour l'heure issus du pétrole…

La première des applications de la biologie de synthèse a d'ores et déjà été adoptée par l'industrie : l'an dernier, Sanofi a commencé à produire à grande échelle l'artémisinine synthétique. Or, si les uns s'en réjouissent, espérant sauver des vies en diminuant le coût des traitements, nombre d'ONG s'en inquiètent. Jusque-là, l'artémisinine était en effet tirée de l'armoise, que cultivent des milliers de paysans chinois, vietnamiens et africains. Faute de réglementation, sa production industrielle pourrait donc rendre leur travail inutile.

Les ONG redoutent aussi la fuite des nouveaux organismes créés en labo : s'ils venaient à se répandre dans la nature, que se passerait-il ? Naturellement, ces réactions poussent les parlementaires à s'interroger sur les enjeux de la biologie de synthèse. Car il y a urgence. Voilà dix ans, il fallait plusieurs mois et des dizaines de milliers d'euros pour obtenir un gène fabriqué par synthèse chimique. Aujourd'hui, une poignée de jours et moins de 1000 euros suffisent. Si la biologie de synthèse est encore toute jeune, elle a déjà les moyens d'avancer à pas de géant. ※

LE GRAPHÈNE

PAR **Gautier Cariou** INFOGRAPHIE **Sandrine Fellay**

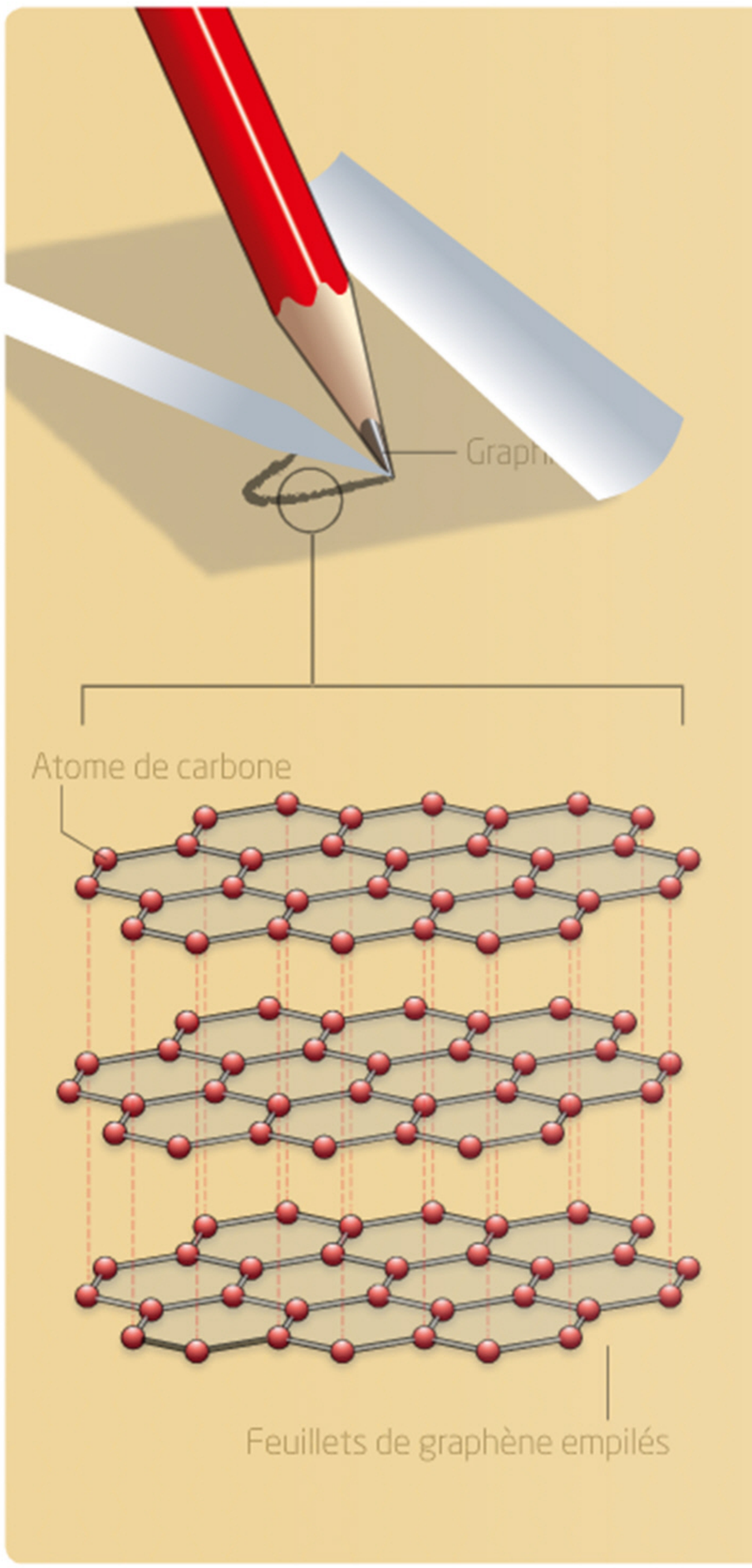
Qu'est-ce que c'est?

Un matériau aux propriétés mécaniques hors du commun.

Le graphène est composé d'une couche unique d'atomes de carbone arrangés en hexagones, à la manière d'un nid d'abeilles. Découvert en 2004, il est le premier solide à deux dimensions isolé par l'homme. Presque transparent, c'est le matériau le plus fin jamais élaboré : il forme un feuillet de moins d'un nanomètre d'épaisseur. Empilés les uns sur les autres par millions, ces feuillets forment le graphite de nos mines de crayon.

Sa structure lui confère des propriétés mécaniques hors du commun. Il est 200 fois plus solide que l'acier tout en restant souple, un peu comme un film alimentaire ultrarésistant. Pour le percer, il faut utiliser une pointe de diamant très fine et appliquer une force considérable. À notre échelle, cette pointe aurait la taille d'un stylo et le film alimentaire supporterait le poids… d'une voiture de 2 tonnes !

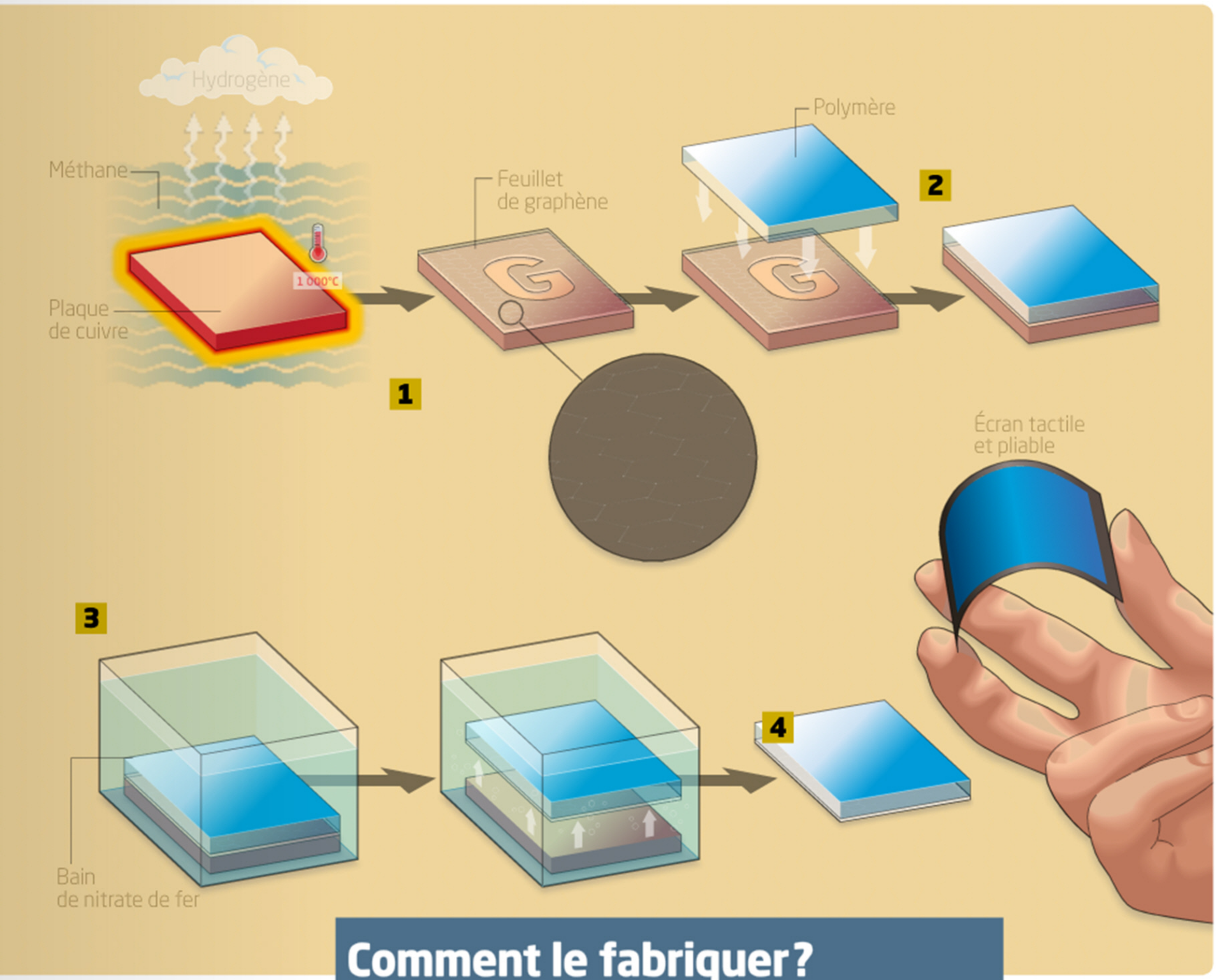
À cela s'ajoutent des propriétés électriques uniques : les électrons se déplacent à la surface du graphène comme s'ils n'avaient pas de masse, comportement que l'on retrouve lorsqu'on leur confère une énergie considérable, dans les accélérateurs de particules. Du coup, le graphène est doté d'une conduction électrique inégalée à température ambiante. Ces qualités laissent espérer des applications dans les domaines de l'énergie, de l'électronique ou le biomédical.



ANNICK LOISEAU,
directrice de recherche
à l'Onera-CNRS

« Le graphène cumule les records. Il est à la fois le **plus fin** des matériaux, le **meilleur conducteur d'électricité** à température ambiante et le plus **robuste.** Il est aussi **transparent** dans le domaine de la lumière visible. Ces propriétés pourraient être mises à profit dans des domaines aussi variés que l'électronique, l'aéronautique, l'énergie. »

ONERA, THE FRENCH AEROSPACE LAB



Comment le fabriquer?

1. Pour produire plusieurs mètres carrés de graphène, on expose une surface de cuivre à du méthane à une température de 1 000 °C. Les atomes d'hydrogène provenant du méthane s'évaporent, et les atomes de carbone forment une fine couche à la surface du cuivre: le graphène.

2. On ajoute un polymère pour fixer le graphène.

3. On plonge l'ensemble dans un bain de nitrate de fer pour « décoller » le graphène de la surface de cuivre.

4. On récupère le graphène fixé au film de polymère. Et on l'utilise, pour fabriquer des écrans tactiles et pliables, par exemple.

Un autre procédé existe pour fabriquer de petites quantités de graphène: la graphitisation. On chauffe du carbure de silicium sous vide à 1 000 °C. Les atomes de silicium se subliment, ne laissant à la surface qu'une couche d'atomes de carbone qui se réorganisent pour former du graphène.

JON SUPER/AP/SIPA

Qui l'a isolé ?

ANDRE GEIM et KONSTANTIN NOVOSELOV Ces deux physiciens nés en Russie exercent ensemble à l'université de Manchester, au Royaume-Uni. À la fin des années 1990, le duo, déjà dans le même laboratoire, s'adonne à un rituel scientifique : les « expériences du vendredi soir ». Lors de ces séances, Andre Geim (à gauche ci-dessus) et Konstantin Novoselov tentent des expériences ludiques en marge de leurs recherches, ce qui vaut à Andre Geim le prix parodique IgNobel en 2000 pour avoir fait léviter une grenouille avec deux aimants puissants. En 2004, les deux hommes tentent une expérience insolite pour isoler du graphène, déjà identifié dans les années 1990 comme le matériau de base du graphite des mines de crayons : ils s'emparent d'un rouleau de ruban adhésif et d'une pastille de graphite puis, à force de coller et de décoller l'adhésif de la pastille, ils isolent le graphène pour la première fois. À l'époque, les physiciens pensaient qu'il était impossible de fabriquer un solide à deux dimensions. Andre Geim et Konstantin Novoselov sont aussi les premiers à mettre en évidence les propriétés électriques et mécaniques du graphène, ce qui leur vaut le prix Nobel de physique, en 2010.

Qu'en fait-on aujourd'hui ?

L'Europe parie un milliard d'euros sur le graphène. Matériau encore jeune, le graphène n'a pas, pour l'instant, d'applications à l'échelle industrielle. Il est en revanche l'objet d'une recherche assidue : sa conductivité électrique inégalée, ses propriétés thermiques et mécaniques stimulent l'inventivité. Par exemple, depuis 2011, Samsung présente chaque année de nouveaux prototypes d'écrans pliables tactiles à base de graphène. L'Europe a compris la montée en puissance de cette technologie et a décidé, en 2013, d'investir un milliard d'euros sur dix ans dans la recherche. De quoi, espère-t-elle, se positionner en bonne place dans la course aux brevets exploitant ce matériau hors normes.

Les physiciens améliorent la qualité. Grâce à un procédé industriel, le dépôt chimique en phase vapeur, on sait déjà fabriquer du graphène par mètres carrés. C'est un préalable. Oui, mais voilà, les procédés actuels produisent du graphène avec des défauts, notamment des irrégularités dans la structure habituelle en nid d'abeilles des atomes de carbone. Des traitements physico-chimiques et de nouvelles méthodes d'analyse sont développés dans les laboratoires afin d'améliorer la qualité du graphène, notamment pour des usages fins, comme l'électronique de pointe.

Un morceau de soie chiffonné ? Non, il s'agit en fait d'un feuillet de graphène froissé, photographié au microscope électronique à balayage.

COSMOS

Et demain, à quoi servira-t-il ?

Il remplacera le silicium. Les composants électroniques de nos téléphones portables et ordinateurs utilisent surtout du silicium, matériau semi-conducteur. Or, le graphène est un candidat sérieux pour le remplacer. Ainsi, en février 2014, le physicien Walt de Heer, de l'université américaine Georgia Tech, à Atlanta, a obtenu des résultats intéressants sur des rubans de graphène de quelques nanomètres : dans ces rubans, la conductivité des électrons est dix fois plus importante que ce que la théorie suggérait. Soit mille fois plus importante que dans le silicium.

Dans le même temps, en janvier 2014, des chercheurs d'IBM sont parvenus à fabriquer la première puce radio en graphène, compatible avec le procédé industriel le plus utilisé pour la fabrication des composants électroniques.

Il rendra le plastique conducteur d'électricité. En mélangeant du graphène à des polymères, on peut rendre ces derniers conducteurs d'électricité. Une qualité qui intéresse les industriels de l'aéronautique et de l'automobile pour des carrosseries et des fuselages d'avions à la fois légers et conducteurs, donc résistants aux éclairs…

Dans un autre registre, la Fondation Bill et Melinda Gate a également soutenu des projets de recherche pour une nouvelle génération de préservatifs mélangeant silicone et graphène, plus résistants, plus fins et meilleurs conducteurs de chaleur.

Il augmentera la durée de vie des batteries. Les batteries lithium-ions de nos appareils portables ont une durée de vie limitée. En ajoutant du graphène à l'électrode d'oxyde de métal de ces batteries ou bien en la remplaçant entièrement par du graphène, leur durée de vie pourrait augmenter drastiquement.

Il boostera les cellules photovoltaïques. Aujourd'hui, les rendements obtenus en laboratoire avec des cellules photovoltaïques en graphène ne dépassent pas 5 %, contre 20 % pour celles du marché, en silicium. Pour autant, ce matériau présente un énorme avantage : il peut absorber la totalité des photons du spectre lumineux, contre la moitié pour le silicium. Autrement dit, il pourrait, en théorie, convertir la totalité de la lumière qu'il reçoit en électricité.

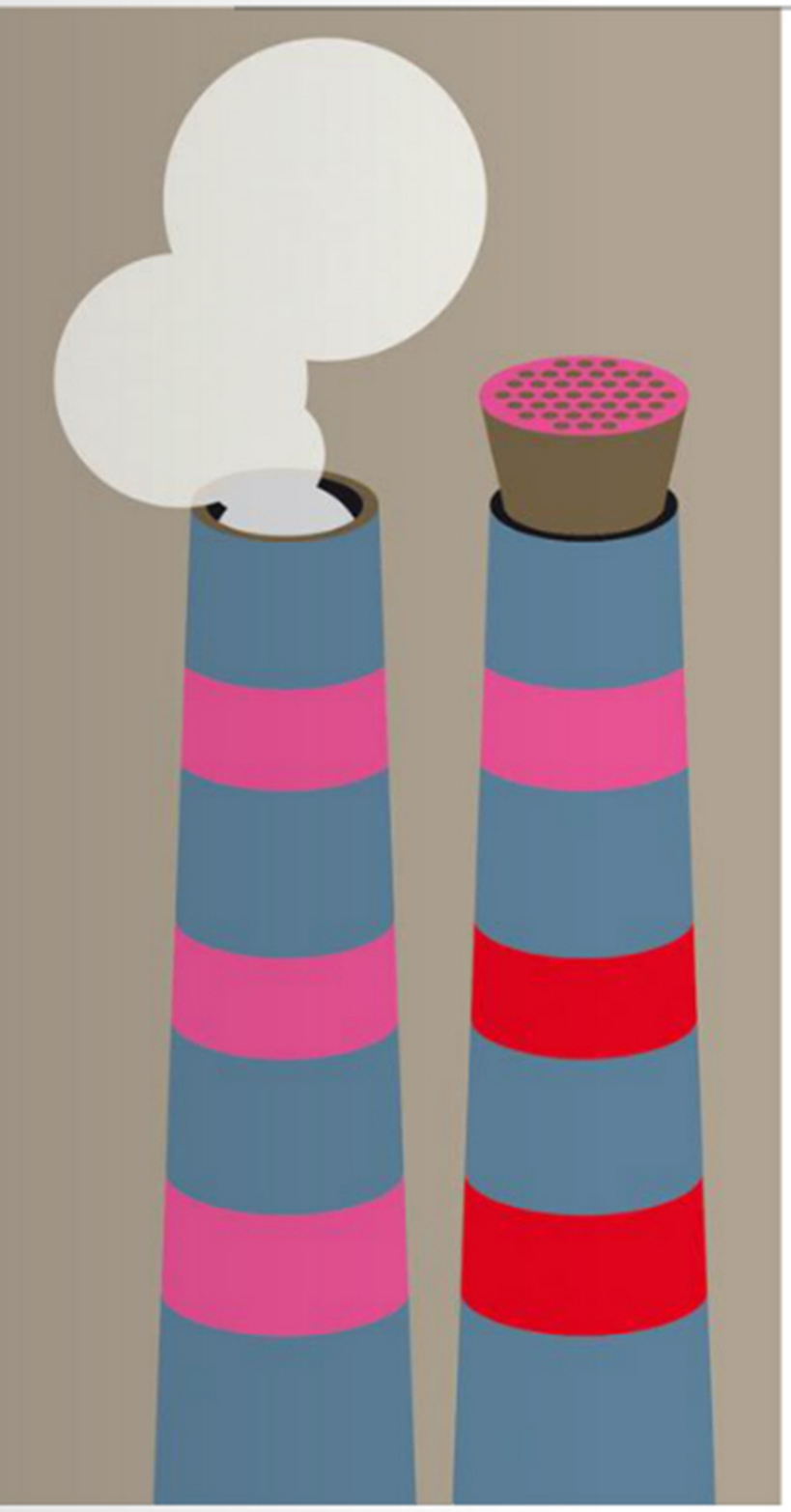
En pratique, la tâche se révèle fastidieuse puisqu'une grande partie des électrons générés restent piégés à l'intérieur du récepteur de rayonnement solaire en graphène. Le défi est donc d'améliorer la structure nanométrique de ce dernier pour faciliter l'évacuation des électrons, et générer ainsi plus d'électricité. ✳

Couvrez ce CO_2 que je ne saurais voir

Le dioxyde de carbone (CO_2) est en augmentation dans l'atmosphère et risque d'asphyxier la planète ? Enterrons-le sous terre ! L'idée est de nouveau testée en Espagne. Mais on n'élimine pas ce gaz à effet de serre comme la poussière sous le tapis…

PAR **Rafaële Brillaud** ILLUSTRATION **Stéphane Kiehl**

Ce site est unique en Europe. Sur un plateau aride du nord de l'Espagne, à Hontomín, près de Burgos, ingénieurs et géologues vont tester pour la première fois le stockage du dioxyde de carbone (CO_2) en sous-sol, dans une couche de roche poreuse gorgée d'eau salée. L'idée : enterrer ce gaz à effet de serre que l'homme produit à l'excès. Cela évite son rejet dans l'atmosphère, où il dérégule la température du globe. Le CO_2 récupéré dans les fumées des usines ou des centrales thermiques est enfoui pour des siècles, voire des millénaires, afin d'éviter la surchauffe.



« DANS LE SOUS-SOL, LE CO_2 RESTE STOCKÉ DE FAÇON SÛRE ET PERMANENTE »

HUBERT FABRIOL du bureau de recherches géologiques et minières. BRGM

Mais la mise en œuvre de cette parade comporte des risques et tarde à se mettre en place. Le site espagnol d'Hontomín fait figure de cas particulier, en Europe. *« C'est le seul projet pilote actuellement en fonctionnement, depuis l'arrêt en 2013 de l'injection de CO_2 sur les sites de Ketzin en Allemagne et de Lacq-Rousse en France »*, souligne Hubert Fabriol, du Bureau de recherches géologiques et minières. *« Surtout, c'est le premier site expérimental européen qui teste la profondeur optimale de stockage, à savoir entre 1 et 2 kilomètres. En effet le stockage à Lacq-Rousse était très profond (4 500 mètres) et celui de Ketzin pas assez (800 mètres) »*, ajoute sa collègue Isabelle Czernichowski-Lauriol, présidente de CO_2GeoNet, réseau scientifique qui regroupe 24 instituts de recherche publics de 16 pays.

Propriétés identiques à celles d'un gaz et d'un liquide

À de telles profondeurs, le CO_2 est si comprimé qu'il devient un fluide supercritique dense, autrement dit, il prend les propriétés à la fois d'un gaz et d'un liquide. Son volume diminue beaucoup – ce qui rend d'autant plus intéressant ce stockage en sous-sol. Le CO_2 remplit alors les pores de la roche-réservoir et reste piégé par les couches supérieures argileuses qui l'empêchent de remonter à la surface. *« Une partie va se dissoudre dans l'eau, une autre précipiter sous forme de minéraux assurant la sécurité de stockage,* détaille Hubert Fabriol. *Les études ont montré qu'au bout de quelques milliers d'années le CO_2 reste stocké de façon sûre et permanente dans le sous-sol. »*

À Hontomín, 20 000 tonnes de CO_2 seront injectées dans un premier temps, 100 000 tonnes à terme. Si les financements suivent. Car, alors même que sa concentration augmente dans l'atmosphère, le CO_2 manque pour ce projet expérimental financé en majeure partie par l'Union européenne. *« L'Espagne est obligée d'acheter du CO_2 industriel à presque 100 euros la tonne !,* s'exclame Hervé Quinquis, de l'Institut français du pétrole énergies nouvelles. *Car, sur place, il n'y a pas de dioxyde de carbone. Pour faire une usine de captage, qui permet*

PRÉSENT PARTOUT, MORTEL À HAUTE DOSE

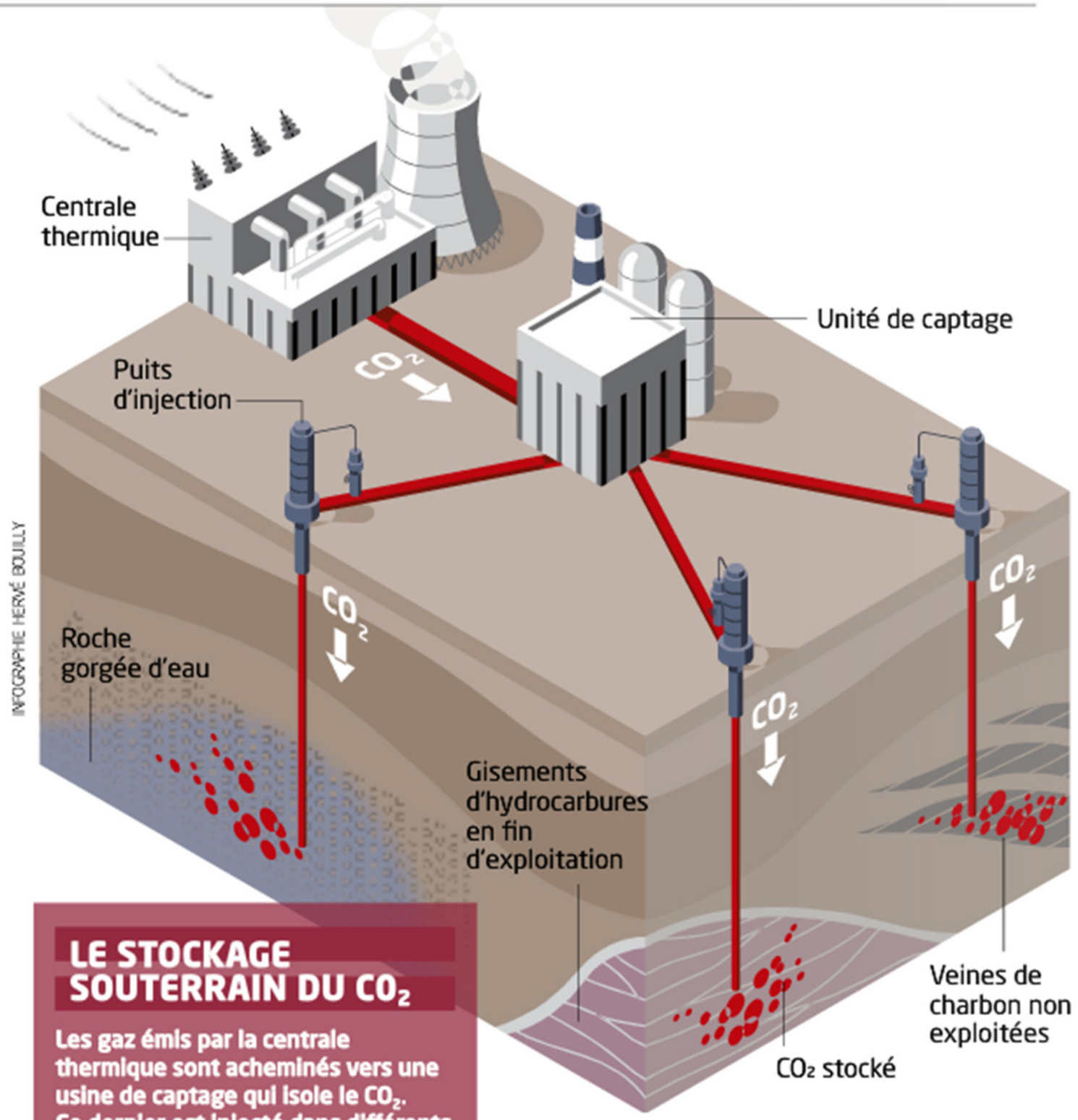
L'air que nous respirons contient naturellement 0,04 % de dioxyde de carbone (CO_2). Néanmoins l'exposition à des teneurs élevées peut avoir des effets néfastes pour l'homme.

Des effets irréversibles se produisent sur l'homme dès que la concentration de CO_2 dans l'air atteint 5 %.

La mort survient en quelques minutes dès que l'air contient 10 % de CO_2. Le 21 août 1986, le lac Nyos, au Cameroun, a provoqué une catastrophe. Dans la soirée, sans explosion ni tremblement de terre, il a dégagé dans l'atmosphère 300 000 tonnes de CO_2 dissout dans ses eaux. *« Une brèche, même importante, dans une canalisation ne serait pas à même de faire passer une telle quantité de CO_2 »*, précise Pierre Toulhoat de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques. Plus lourd que l'air, le gaz s'est écoulé dans les environs jusqu'à plus de 20 kilomètres de distance. Le lendemain, les corps de 1 800 paysans et de leur bétail, tués dans leur sommeil, ont été découverts. Les eaux turquoise du lac avaient viré au rouge-brun. La cause du drame a été identifiée.

de séparer le CO_2 des autres gaz rejetés par les centrales thermiques, il faudrait investir des millions ! C'est le monde à l'envers…»

Le captage-stockage du CO_2 reste, à côté des économies d'énergies et de la promotion des énergies renouvelables, l'une des pistes privilégiées pour limiter l'effet de serre. Selon l'Agence internationale de l'énergie, il pourrait soustraire de l'atmosphère pas moins de 20% des émissions mondiales humaines d'ici à 2050. «*Mais pour atteindre cet objectif, il faudrait plusieurs milliers de sites à travers le monde, quand il n'en existe encore que quelques dizaines*», relativise Hervé Quinquis. En effet, seuls 60 sites de large échelle, c'est-à-dire où l'on injecte au minimum 1 million de tonnes de CO_2 par an, étaient comptabilisés par l'institut australien Global CCS en février. Ils se trouvent principalement aux États-Unis, au Canada, en Chine et en Australie. Mais pas plus de 12 sont opérationnels.



INFOGRAPHIE HERVÉ BOUILLY

LE STOCKAGE SOUTERRAIN DU CO_2

Les gaz émis par la centrale thermique sont acheminés vers une usine de captage qui isole le CO_2. Ce dernier est injecté dans différents types de sols, grâce à un puits, hélas gourmand en énergie.

Méthode éprouvée, mais questions en suspens

Comment comprendre un tel manque d'engouement à l'heure où les prévisions concernant les changements climatiques sont de plus en plus alarmantes ? Pourtant, depuis sa première utilisation, en 1996, sur le gisement off-shore norvégien de Sleipner, en mer du Nord, où plus de 15 millions de tonnes de CO_2 ont été injectées, la méthode a fait ses preuves. «*À Sleipner, on a montré qu'il n'y a pas de fuites vers la surface et qu'il est possible de cartographier où se trouve le CO_2*», détaille Hubert Fabriol.

Mais le captage-stockage du CO_2 n'est pas sans danger. Pierre Toulhoat, directeur scientifique de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), dresse l'inventaire des problèmes à chaque étape du processus : en commençant par le captage par oxycombustion, ce procédé qui consiste à enrichir en oxygène le mélange de gaz issus d'usines pour obtenir, après une étape de combustion, du dioxyde de carbone pur. «*L'utilisation d'oxygène pur pendant l'oxycombustion impose la vigilance face aux risques d'explosion et d'incendie*», souligne Pierre Toulhoat. Puis, lors du transport via des pipelines : «*En cas de rupture de la canalisation, des fuites provoqueraient la formation d'une nappe de dioxyde de carbone plus dense que l'air, ce qui pourrait se révéler préoccupant dans une zone habitée.*»

Mais au-delà de ces risques connus et habituellement maîtrisés, c'est surtout le stockage dans une formation géologique profonde

qui soulève certaines questions. Comment va réagir le CO_2 à de telles profondeurs ? Va-t-il rester enfoui ? En novembre 2012, une étude de l'Ineris a révélé que l'injection de CO_2 pouvait entraîner une contamination des nappes phréatiques proches du réservoir, en remobilisant des métaux lourds (zinc, fer, arsenic…) naturellement présents dans la roche. Lors d'un essai mené dans un aquifère à faible profondeur du bassin de Lodève dans l'Hérault, l'institut a démontré que le CO_2 acidifie le milieu et libère des contaminants.

Une autre étude de l'Ineris, en mai 2013, qui passe en revue les retours d'expériences des sites de stockage de gaz (CO_2 ou gaz naturel), a, elle, souligné les risques de fuites ou d'accident mécaniques : élévation du sol, effondrement… Elle recense dans le monde pas moins de 80 cas d'incidents et d'accidents, aux causes et aux conséquences variées, jugés pertinents du point de vue de leur analogie avec le captage-stockage du CO_2. Dans près d'un cas sur deux, il s'agit de fuites massives.

60

SITES DE STOCKAGE existent dans le monde alors qu'il en faudrait plusieurs milliers pour contenir 20 % des émissions mondiales de CO_2 d'ici à 2050.

Enfin, au Texas ou en Espagne, des liens ont été établis entre l'injection de gaz et le déclenchement de secousses sismiques de magnitudes relativement fortes. D'importants volumes de CO_2 généreraient une pression modifiant les contraintes tectoniques. *« L'étape du stockage est très dépendante de la géologie du site, et chaque site est donc unique »*, pondère Isabelle Czernichowski-Lauriol, qui insiste sur la nécessité de bien choisir et caractériser chaque lieu de stockage.

Reste que le véritable obstacle au développement du captage-stockage du CO_2 est… financier. À l'heure actuelle, si un industriel émet trop de CO_2, il achète des quotas supplémentaires sur le marché du carbone. La tonne de CO_2 ne lui coûte alors que 5 euros, contre *« plus de 100 euros »*, selon Hubert Fabriol, s'il décide de l'enfouir. Cela n'incite guère à miser sur cette méthode.

Rentabilité mais hostilité des riverains

« La Norvège a eu le courage d'imposer une taxe sur le CO_2, analyse Hervé Quinquis. *Les opérateurs ont alors investi dans des projets de stockage du CO_2 – moins coûteux que le paiement de cette taxe –, à Sleipner, en mer du Nord, depuis 1996, ou à Snohvit, en mer de Barents, depuis 2008. Aux États-Unis, on réutilise le CO_2 capté ou d'origine naturelle pour récupérer du pétrole, on le recycle ainsi plusieurs fois avant de le stocker définitivement. Ailleurs, le captage-stockage du CO_2 n'est pas rentable. »*

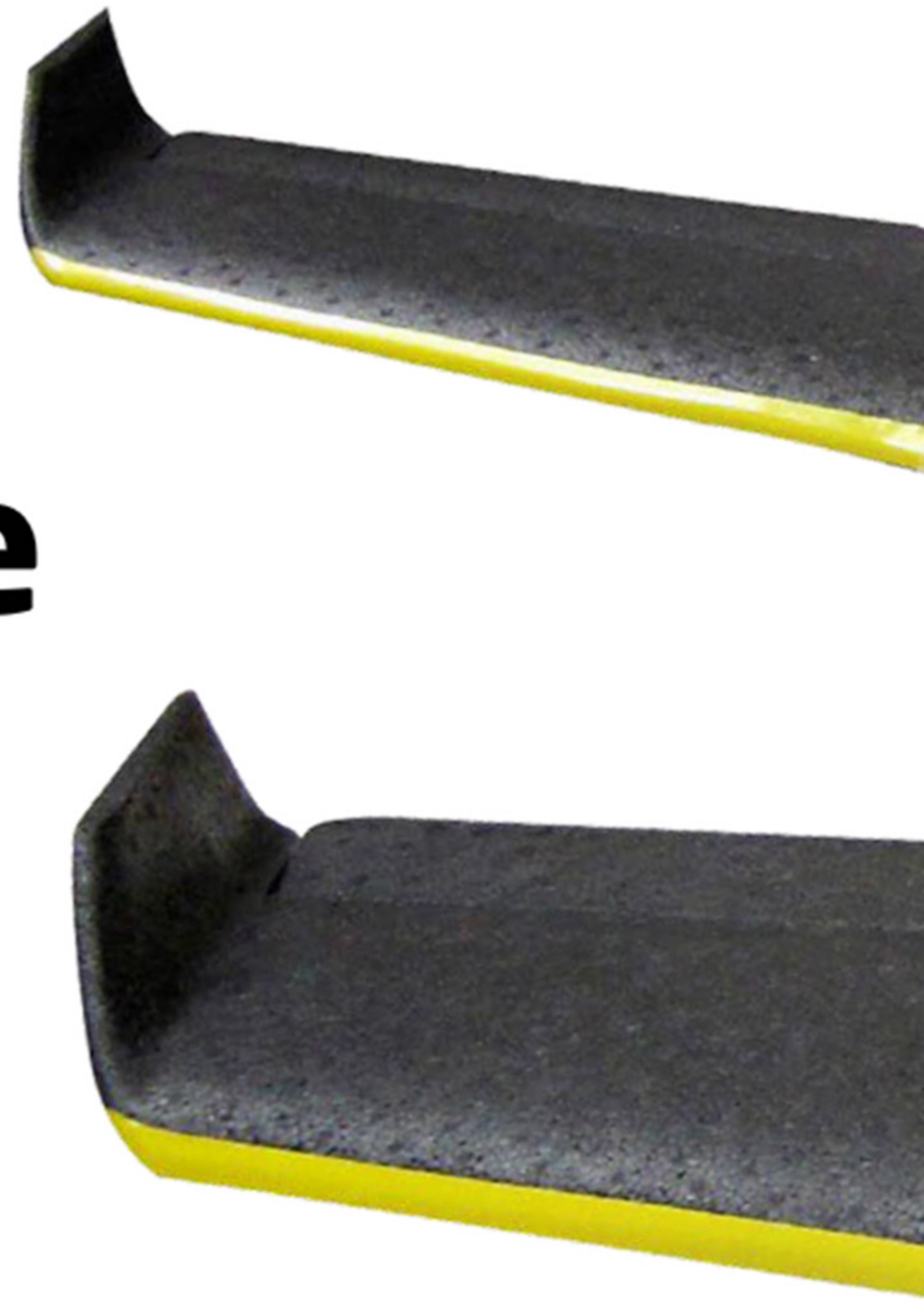
La méthode a aussi un coût énergétique. Pour récupérer le CO_2 dans les cheminées des centrales thermiques puis le stocker, il faut produire davantage d'énergie, et donc de CO_2 : *« Environ de 20 à 30 % en plus »*, estime Hubert Fabriol. Une gageure alors que cette méthode vise à trouver une solution pour limiter les émissions de gaz à effet de serre.

À cela s'ajoute l'hostilité des riverains et des écologistes. *« Le but du site d'Hontomín*, affirme Juan Carlos De Dios Gonzalez, directeur du programme de stockage géologique de la fondation publique espagnole Ciudad de la Energía (« Cité de l'énergie »), *est aussi de démontrer que la technique est maîtrisée et que la société peut accepter sans crainte cette nouvelle technologie. »* ※

LA TOUTE PREMIÈRE FOIS… EN FRANCE

C'est dans les Pyrénées-Atlantiques, à Rousse, qu'a eu lieu la première expérience européenne de captage-stockage de dioxyde de carbone (CO_2). **51 000 tonnes de CO_2** ont été injectées par Total dans un puits vidé de son gaz naturel, de janvier 2010 à mars 2013. Le CO_2 était puisé dans les cheminées d'une des cinq chaudières existantes sur le site de Lacq. L'ensemble de la chaîne a été testé avec succès : du captage à la source au stockage en profondeur, en passant par le transport en pipeline sur 27 kilomètres.

Ce projet à 60 millions d'euros est désormais en phase de surveillance jusqu'en 2016. *« On vérifie que le stockage se comporte comme prévu, puis le puits sera refermé avec des bouchons de ciment »*, précise Sylvain Thibeau, de Total. Une surveillance de principe, si l'on en croit les spécialistes. *« Le dioxyde de carbone a été injecté dans une poche en telle sous-pression par rapport à son environnement qu'il n'y a pratiquement aucun risque que cela ressorte ! »*, assure Hervé Quinquis, de l'Institut français du pétrole énergies nouvelles.



Drones, une technologie de haut vol

Jusqu'ici cantonnés au champ militaire, les drones investissent aujourd'hui de nombreux secteurs et sont en passe de remplacer l'homme. À deux conditions : décider seul et se regrouper en essaims.

PAR **Stéphanie Chaptal**

Salon de l'agriculture à Paris, en février. La société Parrot présente l'eBee Agri, drone destiné à la surveillance des champs. Une aile volante, équipée d'une caméra et d'un capteur infrarouge, pour observer l'état des cultures et mesurer le taux de chlorophylle et d'engrais dans les plantes et le sol pour mieux ajuster les traitements. L'eBee Agri n'est qu'un exemple de la banalisation des drones. Longtemps réservés au domaine militaire, ces objets volants autonomes se sont miniaturisés et sont devenus abordables. Résultat : depuis quelques années, ils se développent dans le civil.

Un autre exemple ? L'AR Drone, conçu également par Parrot, sorti à la mi-2010. Au départ, il s'agit d'un jouet, devenu outil pédagogique pour la formation des ingénieurs aéronautiques. Ce petit engin de 380 grammes est équipé de quatre hélices. Particularité : il est l'un des premiers drones pilotables avec un portable via le Wi-Fi, sans connaissance particulière en matière de pilotage. Toutes les informations en provenance de ses capteurs (accéléromètre, gyroscope, capteur de pression ou capteur à ultrasons pour mesurer l'altitude) sont traitées directement par l'application du téléphone. Celle-ci permet aussi de réaliser des photos et des vidéos grâce à deux caméras HD embarquées. *« Nous en sommes à plus de 600 000 exemplaires vendus depuis sa création »*, estime Guillaume Pinto, directeur technique de Parrot. Cette société, née en 1994, s'est d'abord fait connaître avec des kits mains-libres Bluetooth.

Miniatures, bon marché et effet de mode

Au début des années 2000, les téléphones portables intègrent de nouveaux usages : photo, musique et vidéo. *« Il nous fallait trouver une idée de produit*, se souvient Guillaume Pinto. *Nous avions songé à fabriquer une petite voiture télécommandée capable d'envoyer de la vidéo par liaison sans fil Bluetooth. Mais ce n'était pas très pertinent. De fil en aiguille, le Bluetooth est devenu du Wi-Fi, et le drone a remplacé la voiture. Avec des composants désormais*

EBEE AGRI S'EN VA AUX CHAMPS

Croiserez-vous eBee Agri à la campagne ? Pesant 700 gr pour 96 cm d'envergure, le dernier-né de la société Parrot est présenté comme une aide aux agriculteurs : il survole leurs cultures, mesure la croissance des plants et détermine les quantités d'engrais nécessaires. À 3 cm près ! SENSEFLY

LA GUERRE DES ONDES AURA-T-ELLE LIEU ?

Les drones utilisent des liaisons sans fil, que ce soit pour communiquer avec la station au sol ou avec un autre appareil. Dans le domaine militaire, cela ne pose pas de problèmes, car les drones utilisent des canaux réservés.

Une bataille pour l'utilisation des fréquences dans le domaine civil s'annonce en revanche selon Trang Pham, directrice du développement des UAV chez Thalès : *« Un nombre croissant de systèmes vont transmettre des données toujours plus importantes à des débits toujours plus élevés dans des systèmes hétérogènes. Cela limitera, dans un premier temps, la multiplication des drones dans l'espace aérien. »* Le spécialiste de la sécurité informatique Marc Olanié est plus nuancé : *« Les drones utilisent des fréquences déjà bien encombrées, mais cela ne les empêche pas de fonctionner, avec quelques désagréments : perte de données, brouillage ou piratage. »*

Des solutions existent. Les professionnels peuvent payer une licence pour rejoindre les fréquences 27, 72 et 430 MHz allouées aux objets radiocommandés. Ou récupérer les fréquences réservées à la télévision hertzienne qui seront bientôt libérées. *« Elles proposent des débits très faibles, mais elles ont l'avantage d'être à très longue portée »*, souligne Marc Olanié. *Quant à* Serge Chaumette, enseignant-chercheur au Laboratoire en informatique, à Bordeaux, il emploie, lui, le protocole de communication dédié ZigBee, à faible débit, pour le contrôle de ses drones, doublé d'une liaison Wi-Fi, et bientôt 4G, pour envoyer les données collectées : *« Travailler en essaim permet de pallier l'encombrement des fréquences, car on peut désigner le drone du groupe le plus à même d'effectuer la meilleure liaison, qui va se placer loin de tout élément risquant de perturber les transmissions. »* Ou faire ricocher les informations sur les drones pour augmenter la puissance du message.

abordables, la fabrication de drones grand public devenait soudain réaliste. L'effet de mode a fait le reste. »

Comment une technologie jusqu'ici réservée aux militaires — chacun a en mémoire ces avions sans pilote survolant les montagnes afghanes — est-elle soudain devenue abordable au tournant des années 2000 ? Grâce à l'avènement des smartphones !

Sans smartphones, point de drones

Pour Guillaume Pinto, ce sont les fabricants de téléphones mobiles qui ont amené l'industrie électronique à créer des composants à prix raisonnable, rendant ainsi possible la généralisation des Unmanned Aerial Vehicle ou UAV (nom officiel des objets volants sans pilotes hors du domaine militaire) : *« Pour toute une série d'applications, les smartphones renferment des capteurs inertiels : accéléromètre, gyroscope, magnétomètre, etc. Des dispositifs qui permettent de s'orienter dans Google Maps ou, tout simplement, de jouer en inclinant le smartphone. Tous ces capteurs coûtaient une fortune et mesuraient au moins 20 cm*, raconte Guillaume Pinto. *Lorsque Apple et les autres fabricants ont décidé d'adopter ces capteurs inertiels pour leurs produits, du jour au lendemain, ils se sont miniaturisés et sont devenus bon marché. Ce qui était réservé à un drone militaire de quelques millions d'euros est aujourd'hui disponible pour un drone civil qui ne coûte que 200 à 300 euros. »*

Outre la miniaturisation des composants, les drones ont bénéficié des caméras et GPS venus de la téléphonie mobile – eux aussi réduits à une taille acceptable. Le marché a pu alors prendre son envol. Pour Trang Pham, directrice du développement des UAV chez Thalès et cofondatrice du cluster Aetos, réseau de développement et d'exploitation de systèmes de drones, *« la demande de drones explose parce qu'il y a désormais un équilibre entre l'offre technologique, le coût, l'usage et l'acceptabilité. Il y a trente ou quarante ans, tout le monde n'utilisait pas un ordinateur, aujourd'hui tout le monde a un smartphone dans la poche. Or, c'est le GPS et la géolocalisation, intégrés à tous les smartphones, qui permettent de contrôler ce type d'engin »*.

La démocratisation des outils de création numérique a également boosté le développement de nouveaux outils. *« L'explosion des drones est le résultat de la révolution numérique actuelle,* souligne Trang Pham. *N'importe qui peut développer une application pour Apple ou Android. Et même si tout le monde n'est pas encore capable de coder un système embarqué, de plus en plus de personnes s'y essayent avec succès. »*

La téléphonie mobile et les drones civils suivent des chemins parallèles : *« Les coûts vont aller en diminuant dans ces deux secteurs.*

600 000

EXEMPLAIRES de l'AR Drone, jouet qui peut prendre des photos et tourner des vidéos HD, ont été vendus dans le monde depuis la mi-2010.

« L'EXPLOSION DES DRONES EST LE RÉSULTAT DE LA RÉVOLUTION NUMÉRIQUE »

TRANG PHAM, directrice du développement des UAV chez Thalès

THALES

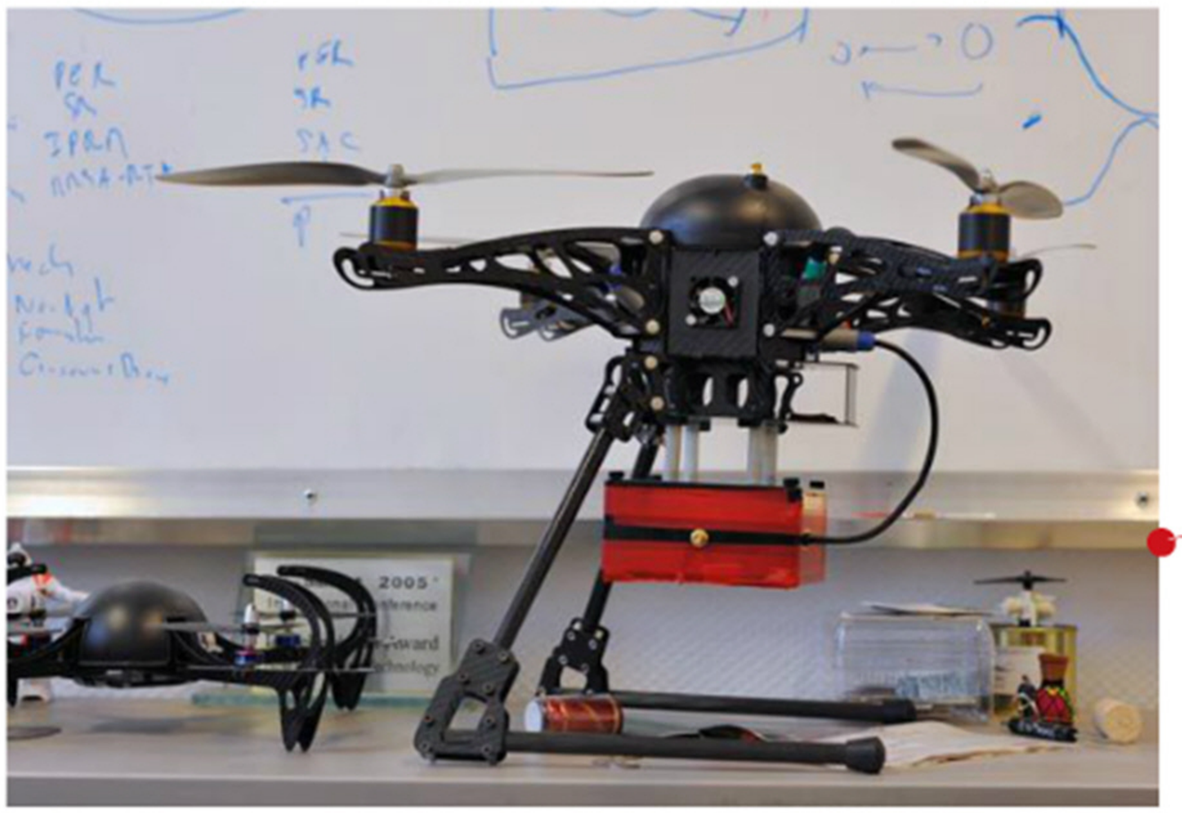
Nous allons vers une segmentation du marché avec des drones peu coûteux pour un public toujours plus large, et des technologies plus onéreuses et plus sophistiquées pour un public plus restreint, professionnel, et qui a de grandes exigences », prévoit Trang Pham.

Plus d'autonomie, moins d'intervention humaine

Et cela va booster la recherche : *« Je pense que nous n'en sommes qu'au début. L'étape ultime sera peut-être imaginée autour des essaims de drones. »* Par ce terme, on désigne un ensemble d'appareils volant de concert, sans intervention humaine, en temps réel, et capables de collaborer pour des tâches précises. Pour en arriver là, il faudrait faire des progrès dans l'autonomie des drones (temps de vol, capacité à suivre un plan de vol en minimisant l'intervention humaine), et des avancées encore plus considérables autour des capteurs, les « organes sensitifs » du drone. *« Le drone doit sentir et éviter les obstacles*, explique Trang Pham. *Aujourd'hui, tous les petits drones existants ont une capacité extrêmement limitée à ce niveau, ce qui fait qu'on ne peut les intégrer dans l'espace aérien des avions. »*

Si les drones utilitaires peuvent peser jusqu'à plusieurs tonnes (lire « Le top 7 », p. 84) et supporter les coups de vent, les drones jouets, eux, ne dépassent pas les quelques kilos et sont sensibles aux moindres perturbations. Bien souvent, ils ne sont pas capables de « voir » les obstacles autour

Clic-clac ! Les photos prises par le drone donnent une image 3D de la découverte. Et les archéologues gardent en mémoire tous les détails. EPA/HENDRIK SCHMIDT/MAXPPP



Au Laboratoire bordelais de recherche en informatique, les essaims de drones sont étudiés grandeur nature. PIERRE CASTÉRAN

d'eux. L'AR Drone, par exemple, ne possède qu'un capteur à ultrasons dirigé vers le sol, et n'en a aucun sur les côtés pour vérifier qu'il ne va pas heurter un mur, une personne ou un autre drone. Quant à se poser seuls s'ils perdent le contact avec leurs pilotes, il n'en est pas question pour eux.

Pour pallier ces obstacles, « *la solution*, selon Trang Pham, *réside dans la nature des capteurs et la capacité à coordonner différents capteurs entre eux* ». Plus les drones utiliseront des capteurs différents et pourront croiser les informations en provenance de sources diverses, plus les usages se diversifieront. On peut par exemple imaginer un drone doté de capteurs vidéo, de détecteurs de rayons ultraviolets ou infrarouges pour une surveillance nocturne ou pour repérer une source de chaleur comme un départ de feu, et de radars pour éviter les collisions en vol et faciliter le survol d'une zone accidentée. Ou encore un drone équipé d'un compteur Geiger pour mesurer l'évolution de la radioactivité sur un site nucléaire, ou d'un détecteur de gaz capable de déterminer si la fumée émanant d'une usine en feu est toxique. De la simple surveillance, on peut passer à l'action, en ajoutant des objets interagissant avec l'environnement, comme les bombes insecticides présentes sur le Joker (lire « Le top 7 », ci-dessous). Et, de là, à l'étape ultime : des drones capables de collaborer entre eux et de gérer une mission sans assistance humaine directe.

Information synthétisée, décision facilitée

Les essaims de drones, ou plus exactement les « flottes sécurisées de terminaux mobiles autonomes » appliquées au domaine aérien, occupent l'essentiel des recherches de Serge Chaumette, enseignant-chercheur au Laboratoire bordelais de recherche en

LE TOP 7

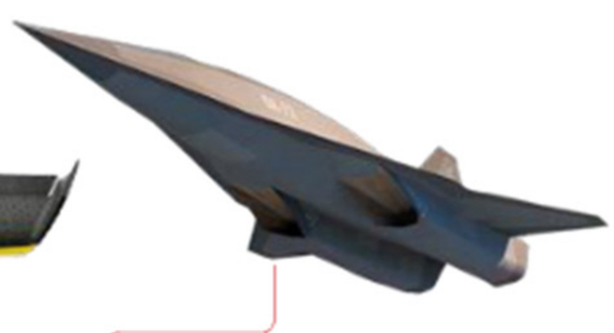
LES DRONES DANS TOUS LEURS ÉTATS

Joker

Fabricant : Wadudu/LGF
Utilisation : destruction de nids de frelons asiatiques
Caractéristiques : poids de 3 kg, 6 rotors, système de contrôle Multiwii2, caméra IP envoyant des images HD, Insecticide CAPTURE

eBee

Fabricant : Sensefly (filiale de Parrot)
Utilisation : cartographie rapide et précise en 3D
Caractéristiques : envergure de 96 cm, poids de 0,7 kg, caméra de 16 mégapixels, autonomie de 45 minutes et contrôle radio jusqu'à 3 km
SENSEFLY



SR-72

Fabricant : Lockheed-Martin
Utilisation : surveillance hypersonique
Caractéristiques : capable d'atteindre Mach 6
LOCKHEED-MARTIN

informatique : *« Nous essayons de créer des engins qui, une fois dans l'air, sont totalement autonomes de la station au sol. »* Les machines se débrouillent et se réorganisent de manière autonome, entre elles, pour garantir le succès de la mission. Pour atteindre cet objectif, Serge Chaumette travaille sur deux points cruciaux : *« D'abord, l'autonomie vis-à-vis du sol, en ajoutant dans chaque engin un nouveau processeur de calcul et des cartes de communications pour laisser l'essaim prendre ses décisions seul quant au déroulement de la mission et assurer la bonne communication d'un drone à l'autre. Ensuite, un modèle mathématique à base de graphes dynamiques qui représentent l'évolution des communications potentielles entre les appareils au cours du temps. La structure de ces graphes nous permet d'assurer le succès de la mission quoiqu'il advienne, y compris en cas de perte d'un des appareils. »* Son laboratoire a ainsi collaboré au projet Carus, un essaim de cinq drones pour la surveillance et la détection des feux de forêt. Chaque drone se voit attribuer une zone de surveillance ; quand l'un décroche pour donner l'alerte, les quatre autres se répartissent la zone de l'absent, sans aucune supervision humaine.

« Nous travaillons aussi sur le projet Azimuth de l'Agence européenne de Défense, confie Serge Chaumette. *Il s'agit d'une approche multi-objet, multicapteur et multiniveau. »* Dans ce projet en effet, un « drone maître », volant à une altitude moyenne, possède la vision globale d'un théâtre d'opérations (une forêt, une zone

FABRIQUER SON DRONE, C'EST POSSIBLE

Pour moins de 300 €, vous pouvez construire votre drone.

Des logiciels open source (modifiables, diffusables et gratuits) sont mis à disposition par des amateurs, comme dans l'informatique traditionnelle.

Les plans des circuits imprimés sont aussi accessibles, par exemple sur le site Arduino.

Des cartes électroniques sont disponibles sur le Web pour quelques dizaines d'euros.

Le code nécessaire au contrôle des centrales inertielles – l'équivalent des cartes mères pour les drones – peut aussi être trouvé sur des plates-formes, comme Multiwii, lancée en 2008. Il suffit de télécharger ce code dans les cartes électroniques basées sur Arduino, comme on installe un système d'exploitation sur un ordinateur.

L'assemblage est à portée de main. Si l'on bricole un peu, on peut construire, voire imprimer en 3D, le châssis qui rassemblera toutes les pièces (centrale inertielle, hélices, caméra embarquée, antenne radio…).

Vous pouvez même le personnaliser. Le code étant placé sous licence libre, chacun peut le modifier pour l'adapter à son appareil. Comme le souligne Laurent Khong, cofondateur d'HelicoMicro : *« C'est tout l'intérêt de l'intelligence distribuée. »*

MQ-9 Reaper

Fabricant : General Atomics Aeronautical Systems
Utilisation : reconnaissance et/ou bombardement dans l'armée française
Caractéristiques : envergure de 20 m, charge utile de 1 700 kg, vitesse de croisière autour de 300 km/h, rayon d'action de 1 850 km GA-ASI

AR Drone 2

Fabricant : Parrot
Utilisation : jouet
Caractéristiques : poids de 380 g, 4 rotors, pilotable via les fonctions Wi-Fi d'un smartphone ou d'une tablette sous iOS ou Android, caméra HD intégrée, autonomie d'environ 20 minutes PARROT

Phantom 2 Vision

Fabricant : DJI
Utilisation : loisirs dédiés à la prise de vue et au tournage de films
Caractéristiques : poids de 1 160 g, 4 rotors, vitesse maximale de 54 km/h, caméra de 14 mégapixels pour des enregistrements vidéo et photo HD DJI

H-Max

Fabricant : K-Man Aircraft
Utilisation : transport de fret dans des zones dangereuses
Caractéristiques : charge utile de 2 270 kg, vitesse maximale de 185,2 km/h, rayon d'action de 494,5 km KAMAN CORPORATION

300 €

C'EST LE PRIX MOYEN d'un drone civil aujourd'hui, contre plusieurs millions pour les premiers drones militaires.

classée Seveso, un quartier d'habitation…). Il est accompagné d'un essaim de drones plus petits, naviguant à basse altitude, équipés de capteurs de différentes natures. Le drone maître, qui, par exemple, repère de la fumée, peut demander aux autres drones d'analyser la composition de cette fumée. L'enjeu est de synthétiser l'information collectée pour faciliter la prise de décision. Le projet Azimuth se terminera dans deux ans par un essai sur le terrain.

Serge Chaumette travaille aussi sur des essaims hétérogènes : « *Des essaims composés de drones, de robots, de bateaux et de sous-marins. Cela pose des problèmes de communication, car les modèles de propagation ne sont pas les mêmes d'un milieu à l'autre, les combiner pour garantir le succès de la mission est extrêmement complexe. Néanmoins, nous devrions réaliser un test grandeur nature vers la fin de l'année.* » Comme Trang Pham, Serge Chaumette compte sur les avancées de la technologie pour étendre l'usage des drones, en toute sécurité : « *Nous espérons, à terme, avoir un impact sur la réglementation en apportant des preuves du bon comportement des drones pour obtenir les autorisations de vol et d'utilisation là où ils font sens.* »

Engins volants à tout faire

Surveiller des voies ferrées, livrer des colis, observer des parcelles cultivées, cartographier… Les drones, appareils volants sans pilote, font tout juste leur entrée dans notre vie quotidienne. Demain, ils seront partout !

PAR **Julien Bourdet**

Joker, drone destructeur de frelons asiatiques, espèce invasive, tueuse d'abeilles, perfore le nid et y injecte l'insecticide grâce à sa « trompe », qui peut mesurer 2 mètres de long.
SUD OUEST/LAURENT THEILLET

Les drones deviennent pacifiques. Utilisés jusqu'ici par les armées pour espionner l'ennemi ou attaquer des cibles depuis le ciel, ces engins volants sans pilote (qu'ils soient guidés à distance – à vue, ou via des caméras embarquées – ou pilotés automatiquement par des logiciels de bord) s'éloignent aujourd'hui des champs de bataille pour investir notre vie quotidienne.

Équipés de caméras et autres capteurs, ces drones civils, qu'ils soient dotés d'ailes comme un avion ou propulsés par des hélices comme un hélicoptère, ont déjà fait un tabac dans le domaine des loisirs : d'innombrables passionnés d'aéromodélisme s'adonnent ainsi, grâce à eux, à la prise de vue aérienne. Et les drones font désormais leur entrée dans la sphère professionnelle : les pompiers les utilisent pour suivre en temps réel la progression d'un feu, les policiers pour surveiller les foules, les associations de protection de la nature pour lutter contre le braconnage, et les médias pour réaliser des images aussi somptueuses qu'inédites, comme celles retransmises lors du Tour de France l'été dernier.

Comment expliquer cet engouement soudain ? *« L'intérêt des drones, c'est qu'ils permettent d'accomplir des tâches qui sont extrêmement monotones et répétitives, comme la surveillance de milliers de kilomètres de rails, voire dangereuses, comme l'inspection et les mesures lors d'accidents chimiques ou nucléaires »*, explique Patrick Fabiani, directeur adjoint de la recherche de l'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace à Toulouse.

Les industriels l'ont bien compris : nombre d'entre eux envisagent dans un proche avenir de se doter de tels appareils volants. En France notamment, premier pays au monde, en 2012, à avoir établi un cadre réglementaire précis pour le vol de drones civils (lire « Un drone au tribunal », ci-contre), les essais se multiplient. La SNCF les expérimente pour la surveillance de ses voies ferrées, ERDF pour celles de ses lignes électriques, GRTgaz pour l'observation de son réseau de gazoducs et Eiffage pour l'inspection du viaduc de Millau.

Moins cher que l'avion ou l'hélicoptère

Pour bien des activités, les drones devraient sérieusement venir concurrencer les avions et autres hélicoptères qui sont aujourd'hui couramment utilisés. *« C'est une certitude*, juge Emmanuel de Maistre, président de la Fédération professionnelle du drone civil. *L'utilisation d'un drone coûte 3 000 euros la journée, contre 2 000 à 3 000 euros pour l'utilisation d'un avion ou d'un hélicoptère mais pour une heure seulement ! »* Et le président, qui est aussi le dirigeant de l'opérateur de drones français Redbird (société qui se présente comme une « compagnie aérienne de drones civils »), d'ajouter avec enthousiasme : *« 2012 aura été l'année de la réglementation des drones, 2013, celle de leur expérimentation et 2014 devrait marquer le début de leur industrialisation. »*

UN DRONE AU TRIBUNAL

Un lycéen de Nancy l'a appris à ses dépens. Dans les airs comme sur la route, il y a des règles à respecter ! Le jeune Nancéien avait acheté un UAS (Unmanned Aerial Systems) civil, vendu comme un jouet et équipé de caméras, et s'est retrouvé pilote d'un objet volant sans même connaître le B.A-BA du pilotage dans l'espace aérien. En février, il a été convoqué devant le tribunal de la ville pour *« mise en danger de la vie d'autrui »*. Son délit ? Avoir utilisé un drone, un Phantom DJI (lire « Le top 7 », p. 84), pour filmer sa ville et avoir mis la vidéo sur Vimeo.

L'usage d'aéronefs sans pilotes est régi par trois arrêtés. Celui du 24 décembre 2013 concerne les drones militaires et adapte la réglementation aux nouvelles technologies. Les deux arrêtés du 11 avril 2012 régissent, eux, les drones civils, pour les professionnels et le grand public, l'un d'entre eux se focalisant sur les appareils capables d'effectuer des prises de vues. Pour filmer ou prendre des photos en extérieur, l'appareil doit être capable de revenir seul vers son point de départ et une autorisation de la Direction générale de l'aviation civile est requise au moins quinze jours avant la date prévue du vol. Si l'objet n'effectue pas de prise de vue, il n'y a pas, pour le grand public, de restriction pour un vol dans un lieu clos, un hangar par exemple. Mais à l'extérieur, les drones doivent se piloter à vue, ne pas dépasser une altitude de 150 m, et le propriétaire doit en garder la maîtrise en toutes circonstances.

Des réglementations particulières s'ajoutent. Elles interdisent le survol de certaines zones, comme la Ville de Paris ou encore les terrains de manœuvres militaires, les centrales nucléaires, etc.

La fabrication artisanale est soumise à réglementation. Les bricoleurs qui construisent leur drone doivent respecter le règlement des radiotélécommunications, qui gère l'attribution et l'usage des fréquences de communication sans fil.

Au Pérou, les drones surveillent les cultures. La précision de leurs images permet de repérer les plants souffrant de la chaleur ou du manque de nutriments. DRONE ADVENTURES

Les applications de ces aéronefs d'un nouveau genre semblent sans limite. Bardés de capteurs, les drones proposeront des services qui nécessitaient jusqu'ici l'intervention d'hommes et demandaient plus de temps et d'argent. Outre la surveillance des grands réseaux, ils pourront détecter des fuites thermiques et chimiques au-dessus des usines grâce à des caméras thermiques et infrarouges, évaluer le volume de minerais dans des carrières à partir d'images en 3D ou réaliser des relevés topographiques grâce à des lasers.

Un domaine en particulier devrait tirer bénéfice de l'arrivée des drones : l'agriculture. « *C'est dans ce secteur qu'on enregistre, à ce jour, l'un des seuls véritables succès commerciaux des drones*, note Patrick Fabiani. *Celui des appareils mis au point par la firme japonaise Yamaha depuis plus de vingt-cinq ans.* » Pilotés à distance, ces hélicoptères miniatures de la taille d'une moto – plus de 2 000 exemplaires sont actuellement en circulation au Japon – servent à pulvériser engrais et pesticides sur les cultures de riz, de blé ou de soja. Ces drones permettent de disperser les produits chimiques avec beaucoup plus de précision que des avions ou des hélicoptères, évitant ainsi d'asperger des habitations comme cela pouvait être le cas auparavant. Surfant sur ce succès, d'autres « drones-agriculteurs » devraient bientôt leur succéder un peu partout dans le monde. En France, notamment, ils sont à l'œuvre depuis peu dans certains domaines viticoles. Non pour asperger les vignes, mais pour diagnostiquer leur état de santé. « *Les drones que nous utilisons sont dotés de capteurs infrarouges qui permettent de mesurer la vigueur de la végétation*, explique Sébastien Labails, responsable du vignoble de la cave des Vignerons de Buzet (Lot-et-Garonne), qui conduit actuellement des tests sur un domaine de 80 hectares en collaboration avec la société italienne Telespazio. *On peut ainsi mieux organiser nos vendanges et évaluer précisément quelles sont les zones à fertiliser, ce qui nous permet de réduire la consommation d'engrais.* »

Plus efficaces que les satellites

Comparés aux satellites, qui sont utilisés aujourd'hui pour cette agriculture de précision, les drones réalisent des clichés de meilleure résolution (quelques centimètres contre un mètre pour les satellites) et ils peuvent les prendre par temps nuageux, contrairement aux satellites. Qui plus est, de nouveaux capteurs, actuellement en développement, pourraient même permettre, à l'avenir, de détecter rapidement l'arrivée de maladies.

Les drones apporteront aussi une aide précieuse pour la gestion des catastrophes naturelles. Faciles à déployer et réactifs,

2000

DRONES sont actuellement en circulation au Japon pour pulvériser des engrais et pesticides sur les cultures de riz, de blé ou de soja.

les aéronefs sans pilote livreront aux équipes de secours une vue extrêmement détaillée des zones dévastées, et cela beaucoup plus rapidement que les satellites et à un moindre coût. En 2013, des drones ont ainsi été utilisés pour cartographier plusieurs régions de Haïti, touché coup sur coup par un violent tremblement de terre en 2010, puis par un ouragan en 2012. Cette mission test, conduite par l'association suisse à but non lucratif Drones Adventures a démontré tout l'intérêt de cette technologie.

De grands vignobles français (ici le Haut-Médoc) testent les drones pour organiser les vendanges et réduire la consommation d'engrais. DEEPIX

Mais l'invasion annoncée des drones ne sera pas complète tant que ces derniers ne seront pas sortis de leur quasi-monoculture de l'imagerie. *« Dans le futur, les drones ne devront pas se contenter de surveiller et de diagnostiquer comme ils le font aujourd'hui, ils devront également entrer dans l'action au moyen d'une robotisation associée »*, estime Trang Pham, directrice du développement des UAV chez Thalès et cofondatrice d'Aetos, qui met en réseau, pour la région Aquitaine, des jeunes entreprises, des laboratoires et de plus grands groupes, sous la houlette de Thalès. Bref, ils devront être de véritables travailleurs aériens.

Déjà, de tels drones commencent à apparaître. Il y a celui, développé par une petite start-up française, qui peut déposer un insecticide dans le nid de frelons asiatiques. Ou ceux, capables de pulvériser de la peinture sur les murs des immeubles. Ou d'autres, munis de pinces, qui pourraient un jour changer les lampes de nos lampadaires ou ramasser des fruits dans les arbres. Sans oublier les drones de livraison, dont les premiers prototypes commencent à voler (lire « Course à la livraison », ci-contre).

Reste que pour véritablement décoller, les drones, qu'ils soient simple sentinelle ou robot à tout faire, ont encore du chemin à parcourir : ils doivent devenir à la fois plus sûrs et plus intelligents. *« De nombreux chantiers ont été lancés par tous les acteurs du domaine pour perfectionner ces engins volants*, confie Trang Pham. *Au programme : le stockage de l'énergie à bord pour augmenter leur durée de vol, la miniaturisation des capteurs pour les rendre plus légers, tous les systèmes intelligents embarqués comme le pilotage automatique, les technologies d'évitement d'obstacles, l'autonomie de décision de l'appareil ou encore le traitement des données à bord. »* On n'a pas fini de voir voler des drones au-dessus de nos têtes. ✳

COURSE À LA LIVRAISON

Les drones pourraient bientôt jouer les facteurs. Fin 2013, le géant Amazon annonçait que, d'ici à cinq ans, il livrerait les colis légers de ses clients avec des drones. À côté de ce projet marketing, jugé irréalisable en si peu de temps par les spécialistes, d'autres initiatives pourraient devenir réalité beaucoup plus vite.

En Australie, l'un des rares pays à autoriser l'exploitation commerciale de drones, la start-up Zookal compte livrer des livres par les airs dès cette année.

Aux Émirats arabes unis, les services publics envisagent, dès 2015, d'utiliser ces engins pour délivrer des papiers administratifs aux citoyens.

Un projet à visée humanitaire : la société américaine Matternet pense pouvoir un jour expédier par drones des médicaments à des cliniques isolées dans des pays en voie de développement. Des tests ont été réalisés en 2013 à Haïti et en République dominicaine et d'autres sont prévus cette année au Lesotho, en Afrique.

LE COUP DE CŒUR

PLANÈTE SCIENCES

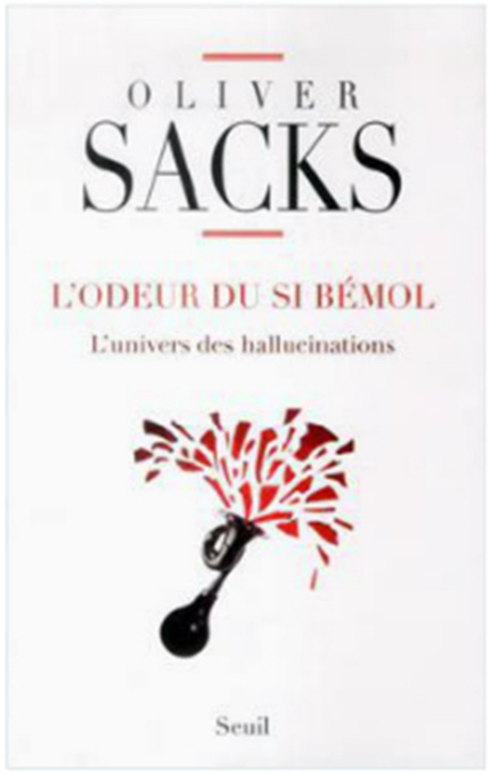
CONCOURS

COUPE DE FRANCE DE ROBOTIQUE

La Coupe de France de robotique revient pour sa 21e édition. Le défi de cette année ? Concevoir un robot autonome capable d'exécuter des tâches (ramassage, lancé d'objets, etc.) autour du thème de… la préhistoire ! Un thème insolite qui promet des activités variées, telles que la chasse au mammouth ou la cueillette de baies. *« Cette coupe a vu le jour en 1994, afin de promouvoir les secteurs informatiques et robotiques émergeant dans notre quotidien »*, explique Benoît Henry, responsable du secteur robotique de l'association Planète Science, coorganisatrice de l'événement avec la ville de La Ferté-Bernard (Sarthe). Destiné aux moins de 30 ans, ce concours réunit désormais plus de 170 équipes, principalement des étudiants en IUT et en école d'ingénieurs. Et pour cause, devenu une référence dans le secteur français de la robotique, il fait office de vivier pour les entreprises. Et les robots réalisés, bien qu'ils ne soient pas destinés à être commercialisés, représentent une vitrine du savoir-faire des étudiants. Les équipes qui arriveront sur le podium seront qualifiées pour la coupe de robotique à l'échelle européenne : Eurobot. ✻

La Ferté-Bernard (Sarthe), du 28 au 31 mai 2014

LIVRES

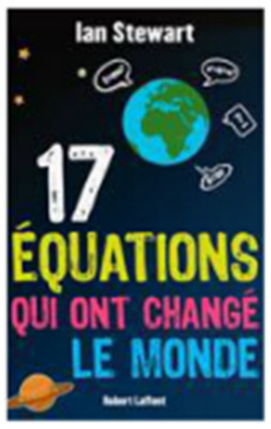


L'ODEUR DU SI BÉMOL

Oliver Sacks
Seuil, 2014, 352 p., 25 €
Conteur hors pair dont l'œuvre a inspiré un film, un opéra et même un ballet, le neurologue Oliver Sacks revient avec un livre sur les hallucinations. Ces expériences étranges, visuelles mais aussi tactiles ou olfactives, ont été vécues par ses patients ou par des personnages célèbres à l'occasion de migraines, de prise de drogue ou de crises d'épilepsie. Loin de les stigmatiser, Olivier Sacks nous en montre l'apport dans l'art ou la religion. À lire absolument. ✻

MUTANTS

Jean-François Bouvet
Flammarion, 2014, 228 p., 19 €
Plus gros, moins fertile, moins mâle, mais avec *« un degré de conscience en plus »* : tel est le portrait de l'homme du futur dressé par Jean-François Bouvet, neurobiologiste. Son livre fait le point sur ce qui nous affecte (pesticides, perturbateurs de notre système hormonal, etc.) et sur ce qui nous attend. Transhumanisme et quête de l'immortalité compris. Effrayant. ✻



17 ÉQUATIONS QUI ONT CHANGÉ LE MONDE

Ian Stewart
Robert Laffont, 2014, 410 p., 22 €
Le mathématicien Ian Stewart démonte 17 équations, parmi lesquelles le théorème de Pythagore ou $E = MC^2$. Pour chacune, il expose la signification, l'intérêt, les emplois et, bien sûr, le contexte historique et scientifique dans lequel sont nées nos plus célèbres formules mathématiques. ✻

PAGES RÉALISÉES PAR
Sophie Coisne, Mathieu Lauria, Camille L'Épine et Florian Roger

LA THÉORIE DE L'INFORMATION

Aurélien Bellanger
Folio, 2014, 528 p., 8,40 €
Des années Minitel jusqu'à l'arrivée d'Internet, ce roman retrace la saga de l'information à travers la vie de Pascal Ertanger, génie du développement de la télécommunication derrière lequel on devine le fondateur de Free, Xavier Niel. ✻

ALTER EGO - DELIA

Scénario : Lapière et Renders
Dessin : Effa et Sanchez Lopez
Dupuis, 2014, 64 p., 12 €
Après un premier volet vendu à plus de 200 000 exemplaires, la saga de science-fiction revient avec trois nouveaux personnages. Dans le monde de Lapière et Renders, chaque individu est lié à ceux nés au même moment que lui. Plus il a d'alter ego en bonne santé, plus il l'est et vice versa. Le complot scientifico-financier plane… ✻

SORTIES

EXPOS

LA RADIOACTIVITÉ : DE HOMER À OPPENHEIMER

Il fut un temps où nous prenions des bains… au radium. Quant aux publicités des années 1950, elles vantaient les mérites de « crèmes de beauté radioactives ». Cette exposition retrace l'histoire de la radioactivité. Et tout y est, du plongeon au cœur de la matière, pour comprendre le fonctionnement et la structure du monde des atomes, à l'apport des pionniers de la radioactivité. Une réussite. ✻

Au palais de la Découverte (Paris), jusqu'au 8 juin 2014

MUSEUM DE TOULOUSE

OURS, MYTHES ET RÉALITÉS

Muséum de Toulouse, jusqu'au 30 juin 2014
L'ours, sujet de fascination et de crainte. Nous réalisons des peluches à son effigie, mais la puissance de ses pattes griffues peut se révéler mortelle. Au-delà des spécificités de cet animal, cette exposition revient sur la relation ambiguë entre l'homme et l'ours. ✻

STAR WARS IDENTITIES

Cité du cinéma de Paris, jusqu'au 30 juin 2014
Après avoir enchanté le Québec, l'exposition arrive en Europe. Elle permet de redécouvrir les héros, véhicules et décors emblématiques des films. Mais elle propose aussi à chacun de créer son personnage sur mesure en choisissant ses caractéristiques physiques et son histoire à l'aide d'un bracelet connecté, qui est fourni. Des vidéos, mises au point par des experts du Centre des sciences de Montréal, expliquent l'influence de différents facteurs (espèces, gènes, environnement, vécu) sur la personnalité du personnage, en prenant pour exemple l'évolution du comportement des protagonistes de l'univers *Star Wars*. ✻

TM & © 2014 LUCASFILM LTD. TOUS DROITS RÉSERVÉS. UTILISÉE SOUS AUTORISATION

EXPOS

JEU VIDÉO L'EXPO

Cité des sciences et de l'industrie, à Paris, jusqu'au 24 août 2014

Que vous soyez joueur invétéré ou novice, vous trouverez votre bonheur dans cette exposition de 1 000 mètres carrés au décor futuriste. 15 bornes de jeux sont à disposition, depuis les antiques Pac-Man et Course automobile jusqu'à Gran Turismo 6 et Avatar, une expérience inédite où l'on doit contrôler son corps dans un jeu de surf virtuel. Vous découvrirez également par quels métiers on peut accéder à cet univers, dont le chiffre d'affaires rejoint aujourd'hui celui du cinéma. Une exposition davantage axée sur le jeu que sur l'analyse du phénomène. ❊

MANUEL HUYNH / CITÉ DE L'ESPACE

EXPLORE MARS

Vous rêvez d'aller sur Mars ? La cité de l'espace de Toulouse vous transporte sur la planète Rouge à travers sa nouvelle exposition. L'occasion de découvrir le robot de la NASA Curiosity représenté par une maquette grandeur nature. Et de pratiquer des expériences, en s'amusant notamment à recréer une calotte polaire ou à piloter un rover comme le ferait un ingénieur de la NASA. ❊

Cité de l'espace de Toulouse, jusqu'au 4 août 2014

MILLE MILLIARDS DE FOURMIS

Palais de la Découverte à Paris, jusqu'au 24 août 2014

Saviez-vous que les fourmis de feu peuvent s'agréger en de véritables radeaux vivants ? Que certaines colonies sont si petites qu'elles vivent dans un gland ? Autant d'anecdotes que vous découvrirez au cours de cette exposition, qui présente à la fois de véritables fourmilières, des maquettes et des contenus multimédias. ❊

Tous les liens du guide

CONFÉRENCES

LES MÉDUSES, CES NOUVEAUX SEIGNEURS DES MERS

Maison des océans à Paris, le mercredi 14 mai 2014

Les méduses prolifèrent de façon alarmante. La chercheuse Jacqueline Goy et le directeur de l'institut océanographique de Monaco Robert Calcagno expliqueront comment la nature de ces organismes leur confère une robustesse sans égale et de quelle manière l'homme se fait, bien malgré lui, l'instrument de sa conquête de l'océan. ❊

DVD

GRAVITY

28 février 2014, Warner Bros. Durée : 1 h 30, 20,06 €

Alors qu'un groupe d'astronautes effectue une sortie spatiale pour réparer le télescope Hubble, une catastrophe se produit. Ne pouvant réintégrer leur navette, les survivants cherchent un moyen de regagner la Terre. Selon l'astronaute français Jean-François Clervoy, la mise en scène d'Alfonso Cuarón est d'un réalisme saisissant. Un périple spatial vertigineux au visuel éblouissant. Le Blu-ray apporte en outre un lot de vidéos sur la conception du film. ❊

LEÇON #2

Créez votre programme de dessin

Dans notre denier numéro, nous vous proposions de faire vos premiers pas en donnant vie à un « lutin ». Cette fois-ci, nous allons vous expliquer comment générer un programme de dessin, toujours à partir de Scratch, langage conçu par le MIT, aux États-Unis.

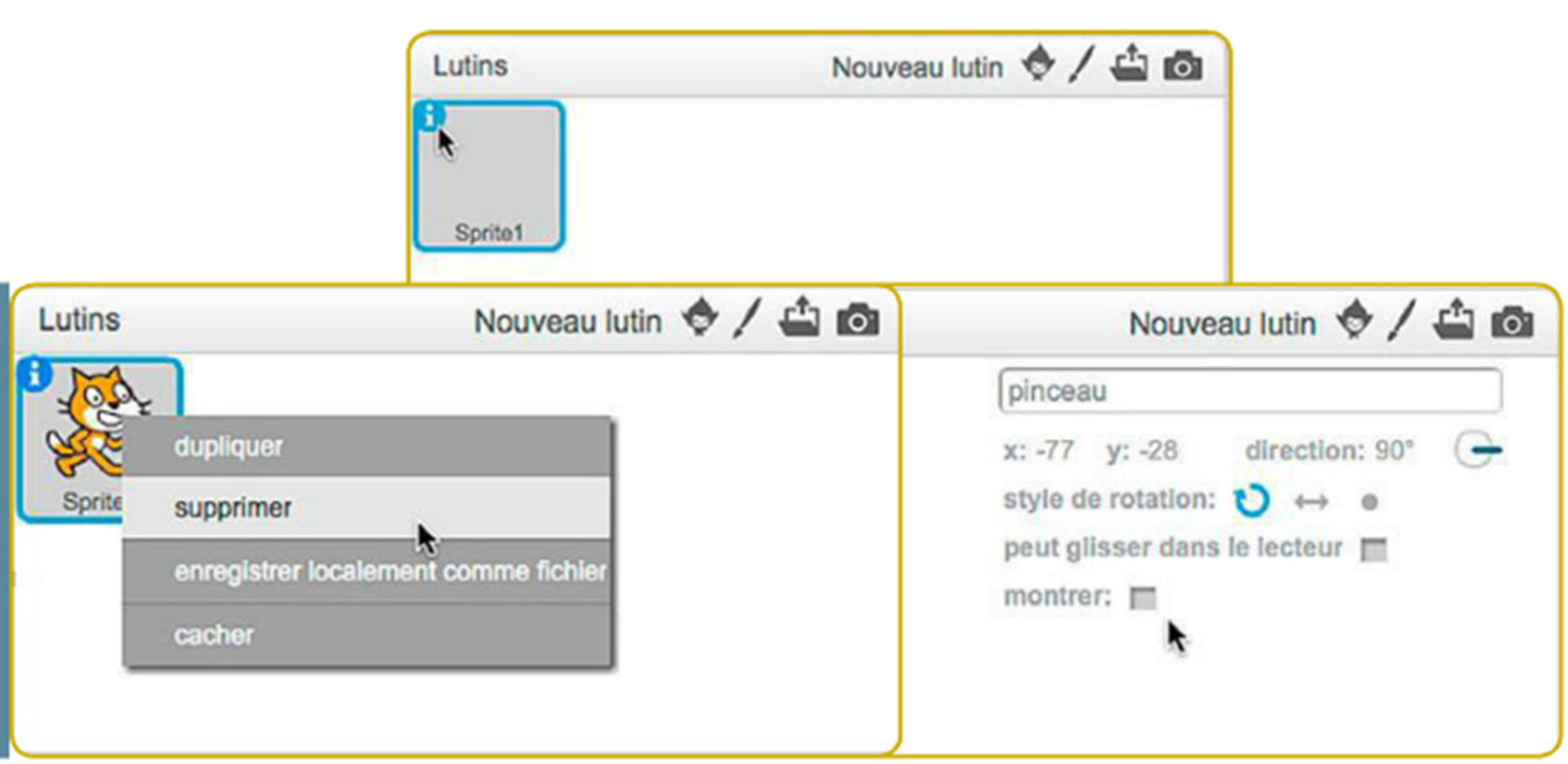
> Nous allons d'abord créer notre palette de huit couleurs. Le blanc, lui, fera office de gomme.

> Puis, nous doterons cette palette du code nécessaire à son fonctionnement : en créant d'abord le code d'une couleur, puis en le dupliquant et, enfin, en ne modifiant que ce qui doit l'être. Vous apprendrez également à créer des fragments de code qui fonctionnent en parallèle, selon ce que fait l'utilisateur. Première étape : rendez-vous sur le site de Scratch http://tinyurl.com/qgs336e

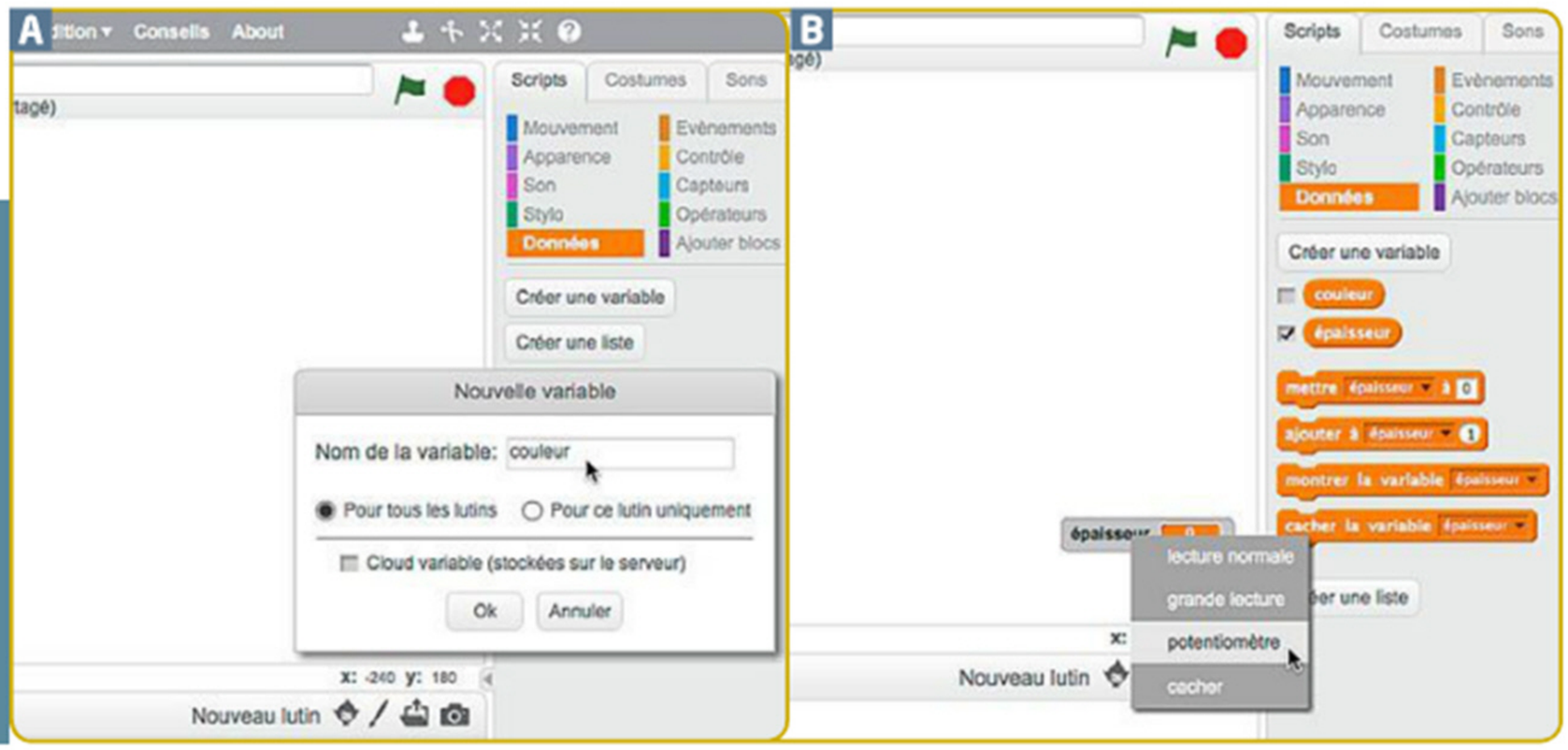
PAR **Denis Delbecq**

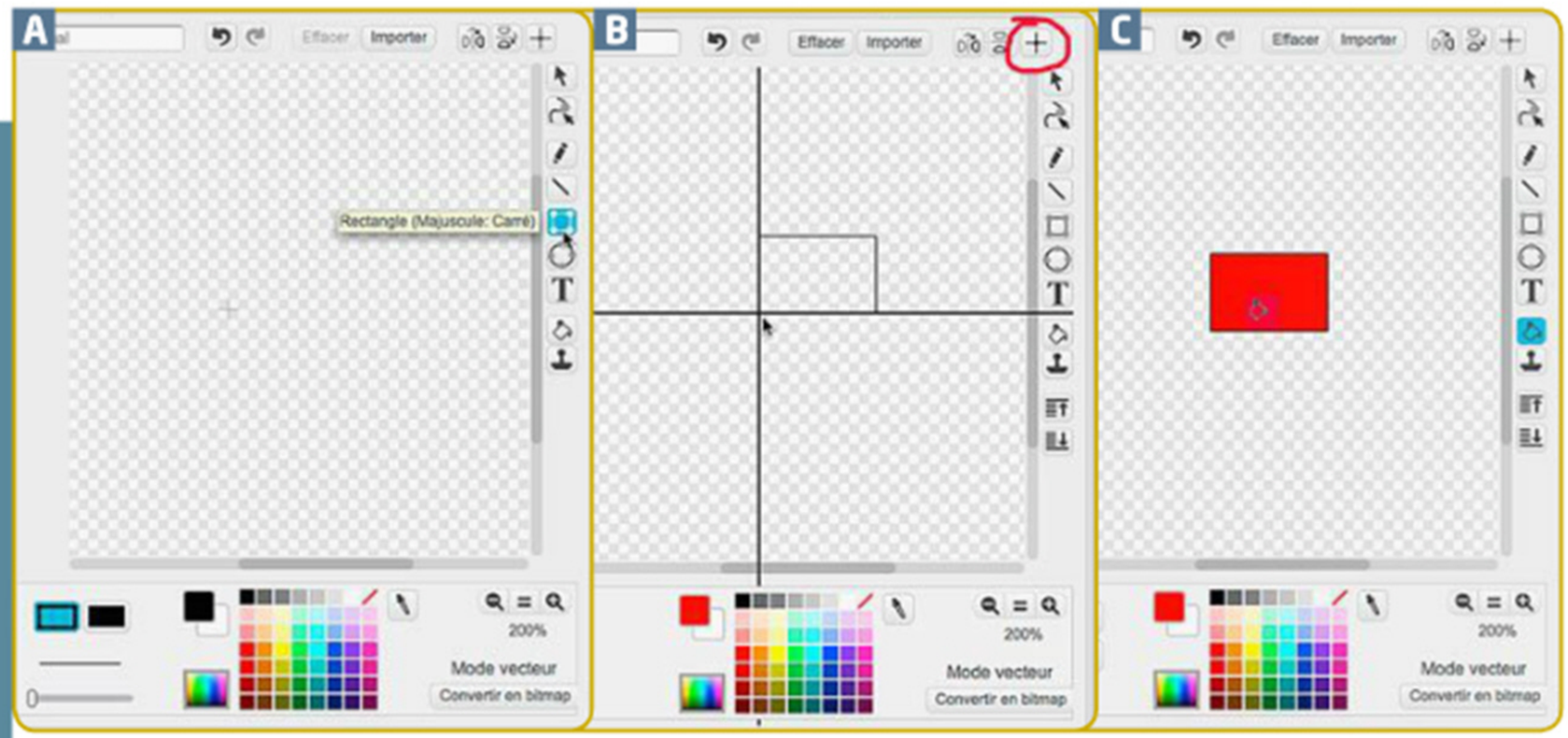
45 minutes ★★☆ *Moyen*

1. Nous allons créer un lutin invisible qui gère l'ensemble du programme. Dans la zone d'affichage, à gauche, cliquez avec le bouton droit de la souris sur le chaton et choisissez « supprimer ». Puis cliquez sur le pinceau pour créer un nouveau lutin, dont vous allez changer le nom en cliquant sur le « i ». Nommez-le « pinceau » et assurez-vous que « montrer » est décoché.

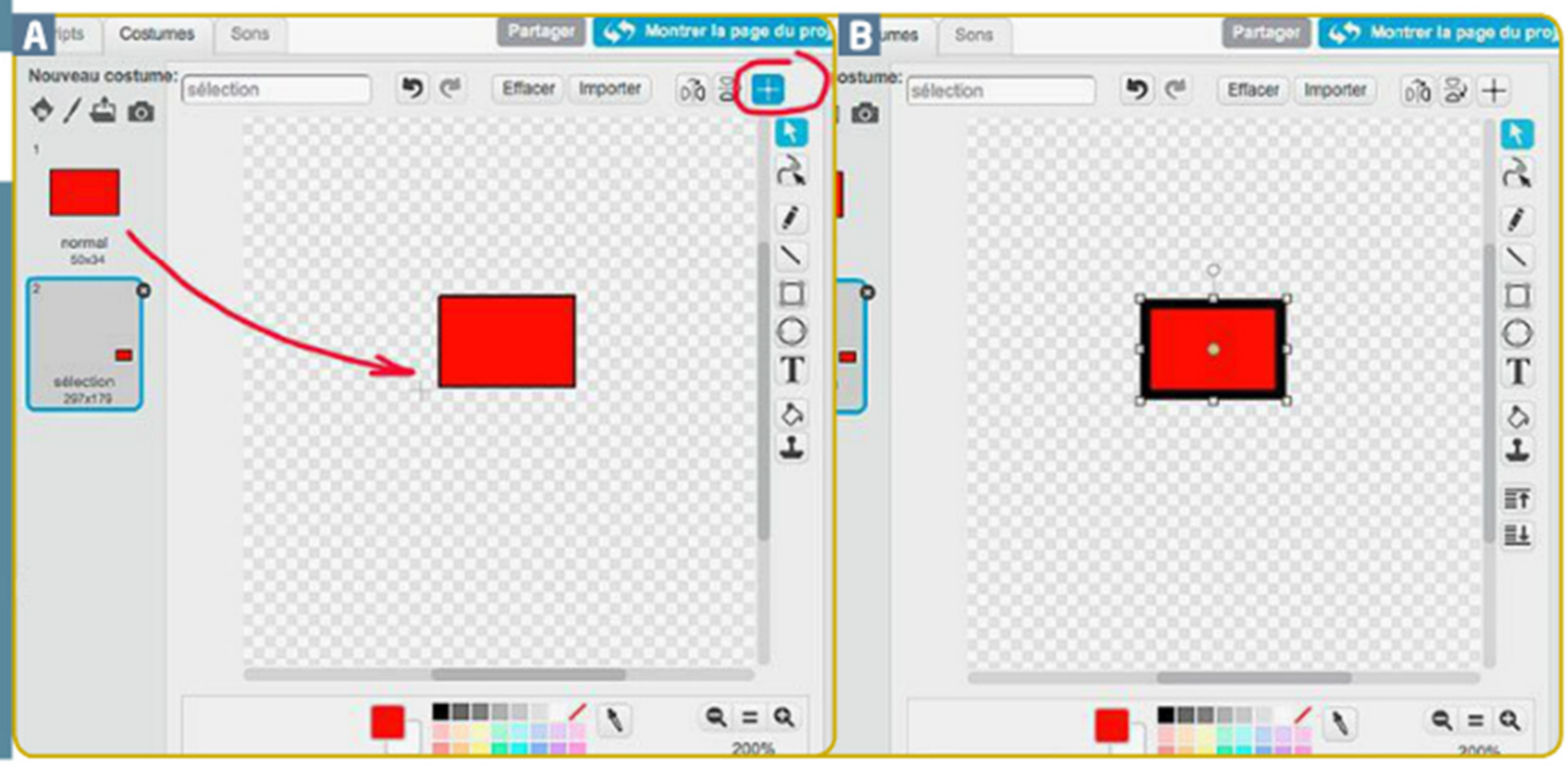


2. L'application doit mémoriser la couleur et l'épaisseur du trait. **A.** Pour cela, cliquez sur l'onglet « scripts » et choisissez « données ». Puis cliquez sur « créer une variable » et appelez-la « couleur ». Procédez de même pour créer une variable nommée « épaisseur ». **B.** Dans la liste des variables, cochez « épaisseur » et décochez « couleur ». Dans la zone d'affichage, cliquez avec le bouton droit de la souris sur « épaisseur » et choisissez « potentiomètre ».

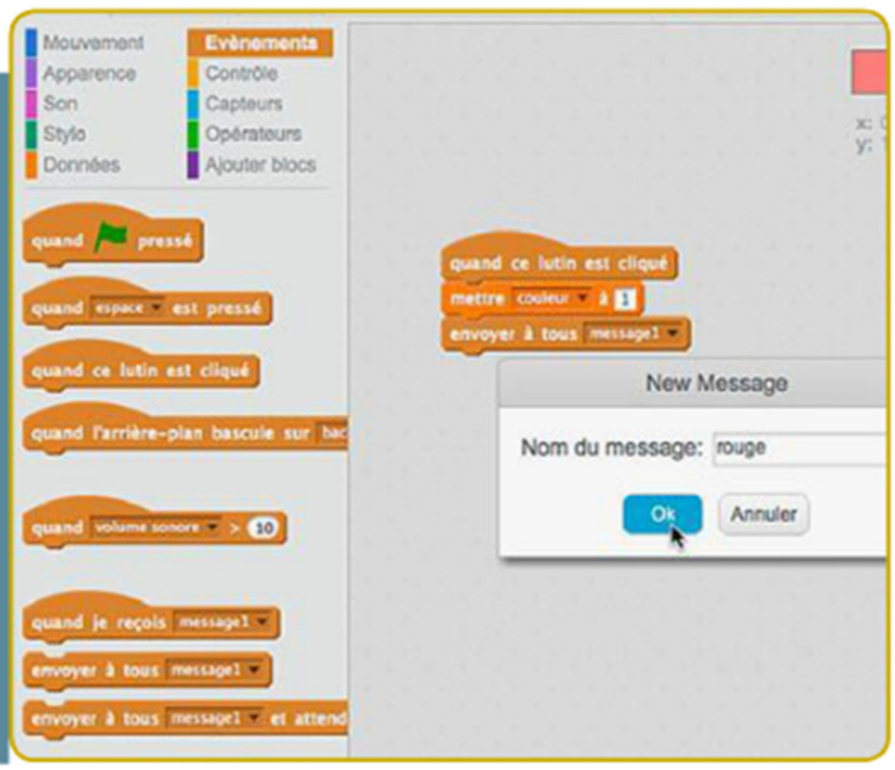




3. Passons à la première couleur. Créez un lutin en cliquant sur le pinceau, nommez-le « rouge » et cliquez sur l'onglet « costumes ». **A.** Nommez « normal » ce premier costume. Cliquez en bas à droite sur le bouton « vectoriser », le dessin sera plus facile. Sélectionnez l'outil « rectangle », à droite de l'écran, choisissez l'épaisseur la plus fine et tracez un rectangle. **B.** Choisissez l'outil « + » et placez la croix de manière à la centrer sur le coin inférieur gauche du rectangle. Soyez précis ! **C.** Sélectionnez le seau, puis la couleur rouge et remplissez le rectangle.

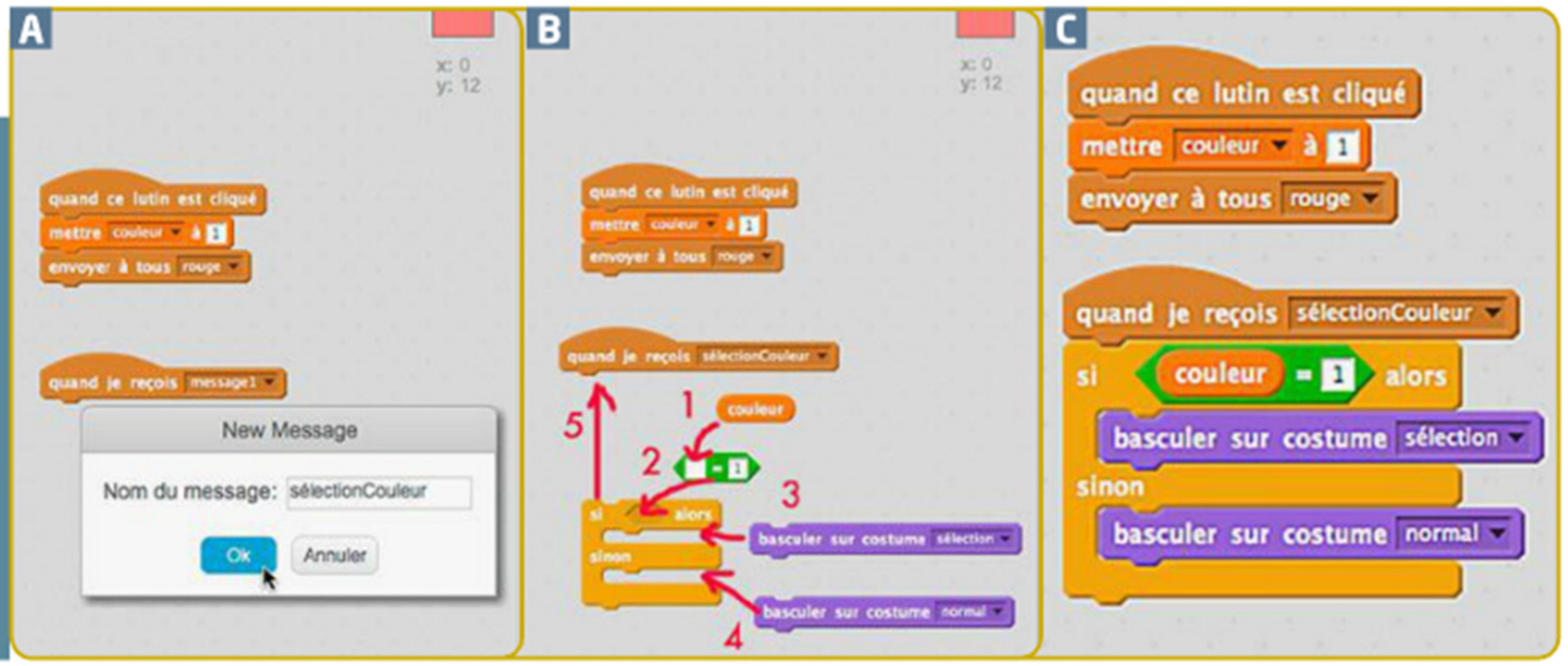


4. C'est terminé pour le dessin ! Dans l'onglet « costumes », cliquez sur le pinceau pour créer un nouveau costume, que vous nommez « sélection ». **A.** Cliquez sur le bouton « vectoriser », puis faites glisser le costume « normal » dans la fenêtre du costume « sélection ». Sélectionnez « + » et positionnez la croix dans le coin inférieur gauche du rectangle. **B.** Sélectionnez le rectangle, puis augmentez l'épaisseur du trait. Vos costumes pour la couleur rouge sont prêts !

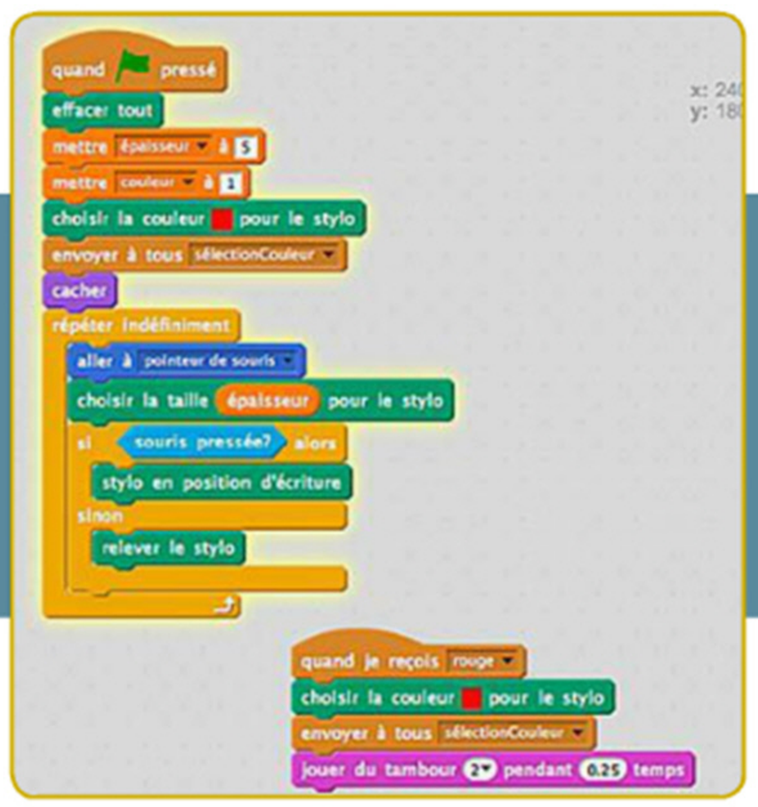


5. Passons au code du lutin rouge. Cliquez sur l'onglet « scripts ». Faites glisser, dans le même ordre, les trois blocs indiqués ici, que vous avez trouvés dans les onglets « événements » et « données ». Dans le bloc orange, choisissez « couleur » et la valeur « 1 » dans le champ blanc. Dans le bloc « envoyer à tous », cliquez sur « message1 » puis sur « New message » et entrez « rouge ». Ainsi, quand le lutin rouge sera cliqué, il signalera que la couleur active est le rouge (1) et annoncera qu'il a été sélectionné (message « rouge »).

6. Nous allons programmer ce que doit faire le lutin rouge quand il recevra le message «sélectionCouleur». Allez chercher les blocs dans les onglets «événements», «données», «contrôle», «opérateurs» et «apparence» et placez-les comme indiqué en A et B, pour obtenir C. Créez le message «sélectionCouleur» pour le bloc «quand je reçois». Tous les autres lutins de couleur seront créés en dupliquant le «rouge».

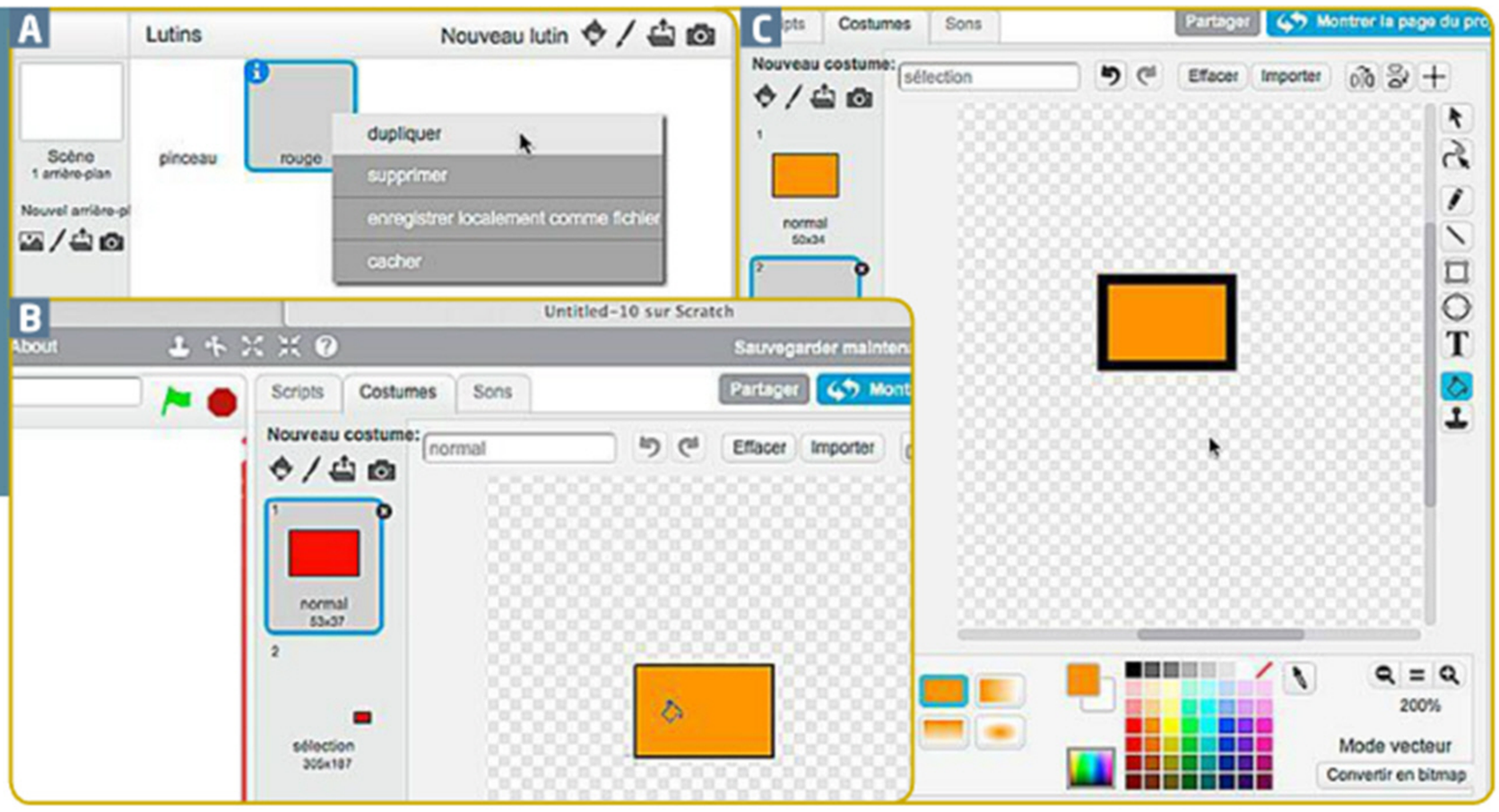


7. Dans la palette des lutins, sélectionnez celui baptisé «pinceau». Cliquez sur l'onglet «scripts» et reconstituez les deux blocs représentés ici. Le premier bloc permet de répéter un ou plusieurs actes en boucle. Il va contrôler le programme: si le bouton de la souris est pressé, on écrit, sinon on relève le stylo.

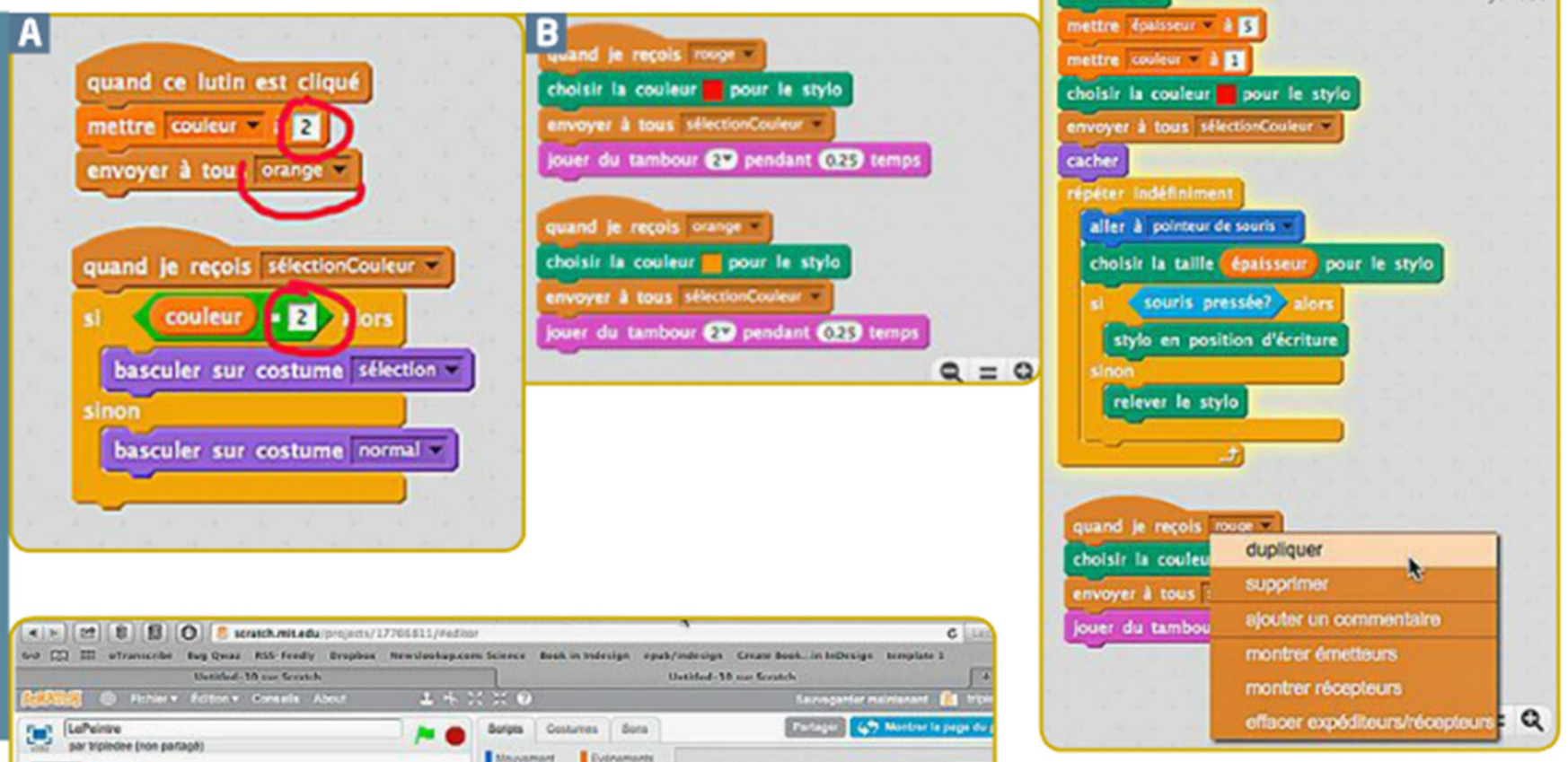


8. Passons au second bloc, qui indique ce que fait le pinceau quand il reçoit le message «rouge»: choisir la couleur rouge (cliquez sur le rectangle de couleur, puis sur n'importe quel objet rouge de la fenêtre). Puis envoyer le message «sélectionCouleur» et enfin jouer un son pour qu'on soit sûr que tout s'est bien passé. Chaque lutin saura ce qu'il a à faire quand il reçoit ce message: soit endosser son costume «sélection» soit son costume «normal».

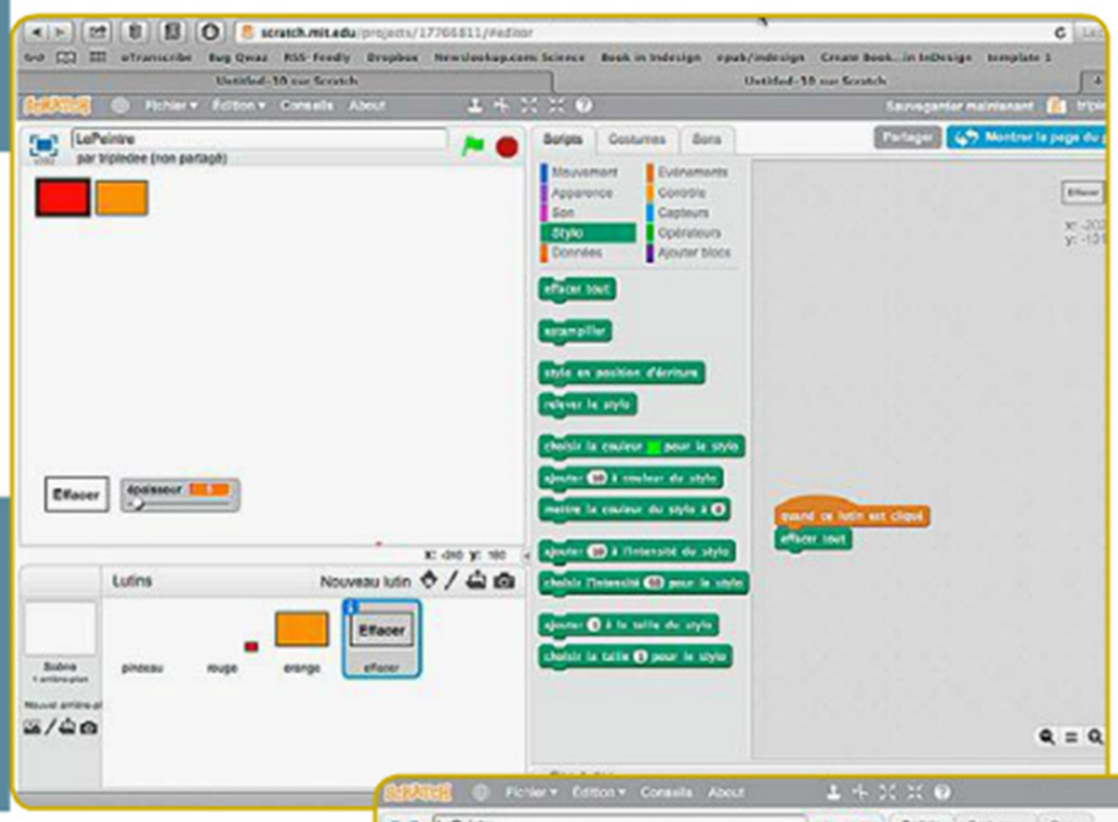
9. Nous y sommes presque. Nous allons maintenant créer une seconde couleur, orange par exemple. A. Dans la zone d'affichage des lutins, cliquez sur «rouge» avec le bouton droit de la souris et choisissez «dupliquer». B. Renommez ce lutin «orange» (bouton i), puis cliquez sur l'onglet «costumes». C. Les deux sont dessinés, il ne reste qu'à les remplir en orange, avec le seau et la palette de couleurs.

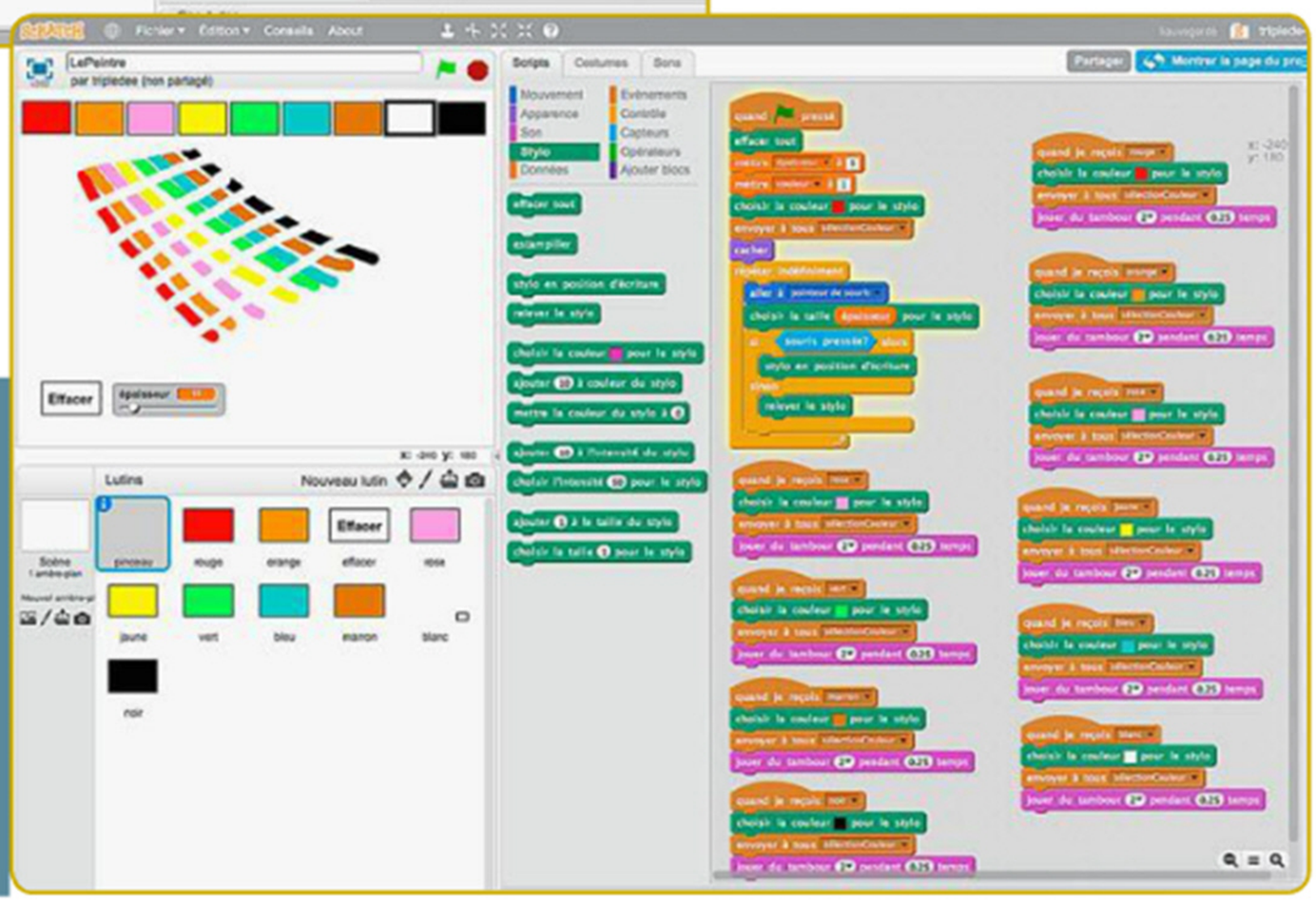


10. **A.** Cliquez sur «scripts», pour modifier celui de notre lutin «orange». Il n'y a que trois choses à faire: mettre «couleur» à 2, créer un message «orange» et mettre un «2» dans le test de couleur du second bloc. **B.** et **C.** Sélectionnez ensuite le lutin pinceau, puis, toujours dans scripts, dupliquez le plus petit des deux blocs de code. Modifiez le «quand je reçois» pour afficher le message «orange», et modifiez la couleur du stylo en orange. Afficher le message «orange», et modifiez la couleur du stylo en orange.



11. Créez un nouveau lutin qui servira à effacer: par exemple, un rectangle avec un texte. Le script est on ne peut plus simple: «quand ce lutin est cliqué», «effacer tout».





12. Lancez l'application en cliquant sur le drapeau vert. Dans la zone d'affichage, vous pouvez permuter entre l'orange et le rouge, effacer le dessin, et modifier l'épaisseur du trait avec le potentiomètre. Il vous reste à recréer les sept autres lutins de couleur. Procédez comme pour l'orange, en choisissant un code pour chaque couleur (3 pour rose, 4 pour jaune, etc.). À chaque fois – comme expliqué en 9 et 10 –, il faut dupliquer un lutin terminé, le renommer, modifier la couleur de remplissage des deux costumes, changer trois petites choses dans son script, et ajouter un script au pinceau (en le dupliquant et en le modifiant).

Retrouvez la leçon 2 sur notre site.

Complétez votre collection...

La Recherche
L'actualité des sciences

Les anciens numéros

Année 2012

N° 459 janvier 2012
Dossier : Le coeur artificiel.
Événement : Le lac sous-glacière Vostok bientôt atteint.

N° 460 février 2012
SPÉCIAL : Les 10 découvertes de l'année.

N° 461 février 2012
Dossier : La physique de l'invisible.
Événement : Les mystérieuses origines des fossiles de Doushanto.

N° 462 mars 2012
Dossier : Vaincre la douleur.
Événement : Stradivarius, la fin du mythe.

N° 463 avril 2012
Dossier : Epigénétique, l'hérédité au-delà des gènes.
Événement : Controverse autour d'un « supervirus » de la grippe.

N° 464 mai 2012
Dossier : La théorie de la complexité.
Événement : Fertilité, les cellules souches bien cachées.

N° 465 juin 2012
Dossier : Troubles mentauxl'escroquerie.
Événement : Taux d'acidification record pour les océans.

N° 466 juillet-août 2012
SPÉCIAL : La physique du XXIe siècle.
Événement : La saga de la grotte Chauvet.

N° 467 septembre 2012
Dossier : Comment Internet modèle notre cerveau.

N°468 octobre 2012
Dossier : Les nouvelles voies de l'Immunité.

N°469 novembre 2012
Dossier : Boson de Higgs : Le pari gagné des physiciens.

N°470 décembre 2012
Dossier : OGM : vérités & mensonges

Année 2013

N°471 janvier 2013
SPÉCIAL : Les 10 plus belles découvertes de l'année.

N°472 février 2013
Dossier : Climat : Ce qui nous attend vraiment.

N°473 mars 2013
Dossier : Comment notre cerveau décide.

N°474 avril 2013
Dossier : Quand la matière émerge du vide.

N°475 mai 2013
Dossier : Voyage dans le futur.

N°476 juin 2013
Dossier : Perturbateurs endocriniens. Comment ils menacent notre santé.

N°477 juillet-août 2013
SPÉCIAL : Cerveau. Comment notre cerveau perçoit le monde ?

N°478 août 2013
SPÉCIAL : 500 ans de controverses scientifiques.

N°479 septembre 2013
Dossier : Energie noire. Pourquoi l'Univers accélère.

N°480 octobre 2013
Dossier : Comment naissent les espèces.

N°481 novembre 2013
Dossier : La science de Stephen Hawking.

N°482 décembre 2013
Dossier : Big Data. Traitement massif des données.

Année 2014

N°483 janvier 2014
SPÉCIAL : Le top des 10 découvertes de l'année.

N°484 février 2014
Entretien : Peter Higgs.

N°485 mars 2014
Dossier : Ordinateur quantique. Les physiciens testent les premières machines.

Les numéros exceptionnels

- Jeux mathématiques
- La science en 22 mots-clés

Les années complètes

45% d'économie

2002 : N° 349 à 359
2003 : N° 360 à 370
2004 : N° 371 à 381
2005 : N° 382 à 392
2006 : N° 393 à 403
2007 : N° 404 à 414
2008 : N° 415 à 425
2009 : N° 426 à 436
2010 : N° 437 à 447
2011 : N° 448 à 458
2012 : N° 459 à 470
2013 : N° 471 à 482

Les Dossiers de La Recherche

Année 2012

N° 47 : Les énergies de demain
N° 48 : Dieu et la science
N° 49 : La mémoire
N° 50 : Les plus belles énigmes de la science
N° 51 : Les pôles, enjeu planétaire
N° 01 : La naissance

Année 2013

N° 02 : Les origines de la vie
N° 03 : Les abysses
N° 04 : Les particules élémentaires
N° 05 : Jeux de mathématiques et de physique
N° 06 : Addictions
N° 07 : L'album de l'année 2013

Les hors-série

- La physique en 18 mots-clés
- Les sciences de la Terre en 18 mots-clés
- 365 énigmes mathématiques
- Spécial Jeux mathématiques
- Le Guide de l'emploi scientifique

Tarifs (frais de port compris)	France TTC	Étranger TTC
Année complète	45,00 €	55,00 €
Numéros	7,50 €	8,50 €
Dossiers	8,00 €	9,00 €
Hors-série	6,50 €	7,50 €
Numéros exceptionnels	8,00 €	9,00 €
Écrin 12 nos	13,50 €	16,50 €
Lot de 2 écrins 12 nos	24,00 €	27,00 €

Et pour conserver votre collection précieusement

➲ l'écrin 12 numéros
24€ les deux

Retrouver l'intégralité des numéros disponibles sur le site www.larecherche.fr et les commander en ligne.

Oui, je souhaite recevoir dans les 3 semaines :

Quantité	Indiquez ci-dessous les numéros souhaités	
_____	Années complètes : ☐ 2003 ☐ 2004 ☐ 2005 ☐ 2006 ☐ 2007	
_____	☐ 2008 ☐ 2009 ☐ 2010 ☐ 2011 ☐ 2012 ☐ 2013	Soit _____ €
_____	Numéro ☐☐☐ ☐☐☐ ☐☐☐ ☐☐☐ ☐☐☐	
_____	☐☐☐ ☐☐☐ ☐☐☐ ☐☐☐	Soit _____ €
_____	Dossiers N° : ☐☐☐ ☐☐☐ ☐☐☐ ☐☐☐ ☐☐☐ ☐☐☐	
_____	☐☐☐ ☐☐☐ ☐☐☐ ☐☐☐ ☐☐☐ ☐☐☐	Soit _____ €
_____	■ La physique en 18 mots-clés	Soit _____ €
_____	■ Les sciences de la Terre en 18 mots-clés	Soit _____ €
_____	■ 365 énigmes mathématiques	Soit _____ €
_____	■ Spécial Jeux mathématiques	Soit _____ €
_____	■ Le Guide de l'emploi scientifique	Soit _____ €
_____	■ Jeux mathématiques	Soit _____ €
_____	■ La science en 22 mots-clés	Soit _____ €
	Écrin 12 nos : ☐☐ Lot de 2 : ☐☐	Soit _____ €
	Total de ma commande	_____ €

Conformément à la loi « Informatique et Libertés » du 06.01.1978 (art.27), vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des données vous concernant. Elles pourront être cédées à des organismes extérieurs sauf si vous cochez la case ci-contre ☐

Bon de commande

À retourner à LA RECHERCHE - BP 65 - 24 chemin Latéral - 45390 Puiseaux
✆ 33 (0) 2 38 33 42 89 • Fax : 33 (0) 2 38 34 32 23 ✉ Email : ctartivot@wanadoo.fr

V09

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____ Prénom : _____
Adresse : _____
Code postal : ☐☐☐☐☐ Ville : _____
Pays : _____
E-mail : _____

Je règle aujourd'hui par :

☐ chèque à l'ordre de *La Recherche* ☐ carte bancaire
N° ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐
Je note aussi les 3 derniers chiffres du numéro inscrit au dos de ma carte bancaire, au niveau de la signature : ☐☐☐ Expire fin : ☐☐ ☐☐

Signature obligatoire :

Votre commande ne sera expédiée qu'à réception de votre règlement.

POURQUOI MON RIDEAU DE DOUCHE ME COLLE-T-IL À LA PEAU ?

Cher Docteur Guique, mannequin de profession, j'ai remarqué que les rideaux de douche ne pouvaient s'empêcher de se rapprocher de moi quand je me lave. Mais collent-ils également les gens au physique banal ?
Carla-S@gmaime.fr

N'en déplaise à votre sex-appeal, les rideaux de douche adhèrent à tout le monde, sans distinction d'âge, de taille ou de coupe de cheveux. En fait, le morceau de tissu imperméable n'a pas plus envie de s'attacher à vous que vous d'endurer son étreinte, il ne fait que subir des pressions, au sens propre.

Votre cabine de douche subit en effet une légère dépression dès que l'eau commence de couler. Ainsi, la pression de l'air à l'extérieur de la douche devient supérieure à celle de l'endroit où vous vous lavez. L'air extérieur se précipite alors à l'intérieur pour combler le vide et essayer de rétablir l'équilibre, entraînant le rideau au passage.

Plusieurs phénomènes physiques participent à la diminution de pression dans votre cabine. L'un d'entre eux est la convection. Sous l'effet de l'eau chaude, l'air à l'intérieur de la douche se réchauffe. Plus léger que l'air à température ambiante, cet air chaud s'échappe par le haut, créant ainsi une légère dépression. Mais cela n'explique pas tout, puisque le rideau s'agite même chez les adeptes de la douche… froide ! Une autre raison est fournie par le théorème de Bernouilli, qui prévoit que l'accélération d'un fluide provoque une diminution de pression. Ainsi, l'air entraîné par le jet d'eau est accéléré, créant un faible vide.

À ces deux explications théoriques s'ajoute celle de David Schmidt, assistant professeur à l'université du Massachusetts, aux États-Unis, et qui lui a valu un prix IgNobel en 2001, décerné en récompense d'une découverte bizarre ou absurde. Grâce à un logiciel à 28 000 dollars, l'Américain est parvenu à simuler 30 secondes de l'écoulement d'une douche. De cette manière, il a montré que les gouttes d'eau expulsées par le pommeau transmettaient une partie de leur énergie à l'air environnant, créant une minitornade horizontale, dont le cœur souffre d'une sous-pression.

Le mouvement du rideau élucidé, revenons à son attirance à votre égard. Si le rideau vous colle, il faut plutôt y voir une interaction entre deux surfaces mouillées qu'un geste d'affection. En effet, l'eau a horreur d'être en contact avec l'air. À la première occasion, elle le fuit. Aussi, dès que les gouttelettes qui vous couvrent entrent en contact avec celles sur votre rideau, elles fusionnent pour diminuer la surface d'eau exhibée à l'air. En clair, l'eau aime l'eau, et le rideau ne fait que suivre le mouvement. Quelles que soient vos mensurations. ✳

Clément Delorme ILLUSTRATION **Jean-Michel Thiriet**

Autolib'
va prendre des couleurs

customoi

CONCOURS

APPEL À PROJET

**Pour habiller, transformer, customiser,
les stations et les voitures du service Autolib'**

customoi@autolibmetropole.fr

#CUSTOMOI

autolib' MÉTROPOLE

autolib'

Votre paysage urbain peut prendre une autre image grace à vous !
Téléchargez votre dossier et laissez place à votre créativité !

WATCH_DOGS™

HACKING IS OUR WEAPON*

"ABSOLUMENT INCROYABLE"
JEUXVIDEO.COM

DISPONIBLE LE 27 MAI**

* "Le piratage est notre arme"
** Et plus tard sur Wii U

:: www.watchdogs.ubi.com ::

18
www.pegi.info

PS4 PS3 XBOX 360 XBOX LIVE XBOX ONE PC DVD ROM Wii U

©2014 Ubisoft Entertainment. All Rights Reserved. Watch Dogs, Ubisoft and the Ubisoft logo are trademarks of Ubisoft Entertainment in the U.S. and/or other countries. "PS", "PlayStation" and "PS3" are trademarks or registered trademarks of Sony Computer Entertainment Inc. "PS3" is a trademark of the same company. Trademarks are property of their respective owners. Nintendo, Wii and WiiU are trademarks of Nintendo.

UBISOFT